

Diseño de un llaut mallorquín eléctrico

Trabajo Final de Grado



Facultat de Nàutica de Barcelona
Universitat Politècnica de Catalunya

Trabajo realizado por:
Xavier Bisquerra Llompart
Manuel Gracia Molina

Dirigido por:
Sergio Velasquez

Grado en Ingeniería en Sistemas y Tecnología Naval

Barcelona, 05/09/2018

Departamento de Ciencia e Ingeniería Náutica



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH
Facultat de Nàutica de Barcelona

Resumen

El alcance de este proyecto es desarrollar un diseño de una embarcación de recreo autosuficiente de 8 metros de eslora propulsada únicamente con energía eléctrica. Este tipo de embarcación es una de las más utilizadas en las islas baleares para el recreo y pesca deportiva.

Todas estas embarcaciones funcionan con motor de combustión, lo que supone un ruido molesto y una fuente de contaminación atmosférica considerable, por ello se ha propuesto la idea de realizar el análisis de la viabilidad de la optimización motora de estas embarcaciones diésel, para que funcionen con energía eléctrica.

Lo primero que se requiere para poder realizar este nuevo modelo, es diseñar un prototipo de llaut mallorquín con motor de combustión para posteriormente sustituirlo por uno eléctrico alimentado por baterías de alto rendimiento. Se pretende aumentar la autonomía ofrecida con la instalación de placas solares como fuente de captación de energía.

Para el diseño del modelo a combustión es necesario analizar los diferentes modelos que se pueden encontrar en el mercado, realizar el diseño 3D y los cálculos del casco, con la finalidad de buscar una potencia propulsiva adecuada para una velocidad de crucero cómoda, con un consumo lo más reducido posible para los regímenes que se consideren interesantes o de uso habitual.

Este proceso se realiza con distintos programas de modelado del casco y diseño como Maxsurf, Rhinoceros y AutoCAD. También se hace uso de herramientas como Excel y Word para realizar los cálculos, las rectas de regresión y las tablas de datos para su posterior edición.

Además, también se calcula la estabilidad estática de la embarcación y se comprueba que cumple con los requisitos mínimos impuestos por la normativa, de manera que el diseño sea óptimo en cuanto a los criterios de estructura, estabilidad y propulsión.

Abstract

The principal objective of this project is to develop an 8 meters length self-sufficient recreational craft propelled only by electric energy. This type of boat is one of the most used in Balearic Islands to recreation and recreational fishing.

All these boats are propelled with internal combustion engine, which is suppose an annoying noise and a source of considerable pollution. For that reason, it has been proposed to realise the motor optimization viability analysis of these boats by electric energy.

For the design of the combustion model is necessary to analyse the different models that can be find found on the market, to carry out the 3D design and the hull calculations, with the purpose to find a suitable power for a comfortable cruising speed with a reduced consumption for the regimes that are considered interesting.

This process is develop with different hull modelling and design software, as Maxsurf, Rhinoceros and AutoCad. It is also used tools, as Excel and Word to do compute the calculations, the regressions lines and the data tables, which are edited later.

Furthermore, it is also calculated the static stability of the craft and it was verified that it meets the requirements stablished by the normative so that the design is optimal in terms of structure, stability and propulsion standards

Índice

RESUMEN	III
ABSTRACT	IV
ÍNDICE	V
ÍNDICE DE TABLAS	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	IX
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ASPECTOS PRELIMINARES	3
2.1. CONSIDERACIONES INICIALES	4
2.2. BASE DE DATOS	5
2.3. DIMENSIONAMIENTO.....	7
2.4. COEFICIENTES DE FORMA.....	12
2.5. RESULTADOS.....	14
3. PRE-DISEÑO.....	15
3.1. PRE-DISEÑO DEL CASCO.....	16
3.2. ESTIMACIÓN DE PESOS	20
3.3. ESTIMACIÓN DE POTENCIA Y RESISTENCIA AL AVANCE	22
4. DISPOSICIÓN ESTRUCTURAL.....	29
4.1. DISTRIBUCIÓN DE PANELES DE LAMINADO	30
4.2. DISTRIBUCIÓN DE REFUERZOS	33
5. ESCANTILLONADO	35
5.1. MATERIALES	36
5.2. ESCANTILLONADO DE LOS PANELES	39
5.3. DIMENSIONADO DE LOS REFUERZOS.....	42
6. EQUIPOS Y SISTEMAS	44
6.1. EQUIPO PROPULSOR DE COMBUSTIÓN INTERNA.....	44
6.2. SISTEMA DE AGUA DULCE.....	47
6.3. SISTEMA DE ACHIQUE.....	48
6.4. SISTEMA ELÉCTRICO	50
7. SISTEMA DE PROPULSIÓN ELÉCTRICO.....	52
7.1. PROPULSIÓN MOTORA	52
7.2. HÉLICE.....	54
7.3. INSTALACIÓN PLACAS SOLARES	55

8. PESOS FINALES	60
9. AHORRO DE COMBUSTIBLE	62
10. ESTABILIDAD	64
11. ECONOMÍA	65
12. CONCLUSIONES	67
BIBLIOGRAFÍA	68
ANEXOS.....	70
ANEXO 1. PRESIONES Y ESPESORES.....	71
ANEXO 2. ESPECIFICACIONES MOTOR	73
ANEXO 3. BALANCE ELÉCTRICO	75
ANEXO 4. IMÁGENES DISEÑO FINAL.....	74
ANEXO 4. PLANOS	76

Índice de tablas

Tabla 1: Base de datos (Fuente: elaboración propia).....	6
Tabla 2: Resultados regresiones (Fuente: elaboración propia).....	11
Tabla 3: Resultados de regresiones y coeficientes (Fuente: elaboración propia).....	14
Tabla 4: Hidrostáticas del casco sin flaps (Fuente: elaboración propia)	18
Tabla 5: Hidrostáticas del casco con flaps (Fuente: elaboración propia).....	19
Tabla 6: Estimación de pesos parte 1 (Fuente: elaboración propia).....	20
Tabla 7: Estimación de pesos parte 2 (Fuente: elaboración propia).....	21
Tabla 8: Resultados estimación de pesos en distintas situaciones de carga (Fuente: elaboración propia)	21
Tabla 9: Estimación de resistencias y potencias del casco sin flaps con el método Savitsky pre-planning (Fuente: elaboración propia).....	24
Tabla 10: Estimación de resistencias y potencias del casco con flaps con el método Savitsky pre-planning (Fuente: elaboración propia).....	25
Tabla 11: Resistencia y potencias. (Fuente: elaboración propia).....	27
Tabla 12: Características del motor (Fuente: web del fabricante).....	27
Tabla 13: Espesores mínimos y finales (Fuente: elaboración propia).....	41
Tabla 14: Dimensiones de los refuerzos (Fuente: elaboración propia).....	43
Tabla 15: Autonomía motor de combustión interna (Fuente: elaboración propia)	45
Tabla 16: Potencias y capacidades de las baterías (Fuente: elaboración propia).....	51
Tabla 17: Autonomías con propulsión eléctrica (Fuente: elaboración propia).....	53
Tabla 18: Pesos finales parte 1 (Fuente: elaboración propia).....	60
Tabla 19: Pesos finales parte 2 (Fuente: elaboración propia).....	61
Tabla 20: Resultados pesos finales (Fuente: elaboración propia).....	61
Tabla 21: Comparativa autonomías (Fuente: elaboración propia)	62
Tabla 22: Ahorro de combustible (Fuente: elaboración propia).....	63
Tabla 23: Coste del sistema de propulsión eléctrico (Fuente: elaboración propia).....	65
Tabla 24: Tiempo de recuperación de la inversión (Fuente: elaboración propia)	66

Índice de figuras

Figura 1: Gráfico de regresión lineal eslora-manga (Fuente: elaboración propia)	7
Figura 2: Gráfico de regresión lineal eslora-calado (Fuente: elaboración propia).....	8
Figura 3: Gráfico de regresión lineal manga-calado (Fuente: elaboración propia).....	8
Figura 4: Gráfico de regresión lineal eslora-desplazamiento (Fuente: elaboración propia).....	9
Figura 5: Gráfico de regresión lineal eslora-potencia (Fuente: elaboración propia)	9
Figura 6: Gráfico de regresión lineal eslora-puntal (Fuente: elaboración propia).....	10
Figura 7: Gráfico de regresión lineal eslora-combustible (Fuente: elaboración propia)	10
Figura 8: Gráfico de regresión lineal eslora-agua dulce (Fuente: elaboración propia).....	11
Figura 9: Casco sin flaps (Fuente: elaboración propia)	16
Figura 10: Casco con flaps (Fuente: elaboración propia)	16
Figura 11: Gráfico comparativo de métodos de estimación de resistencia (Fuente: elaboración propia)	22
Figura 12: Gráfico comparativo de métodos de estimación de potencia (Fuente: elaboración propia) ...	23
Figura 13: Casco con flaps y línea de agua (Fuente: elaboración propia).....	28
Figura 14: Zonas de escantillado (Fuente: ISO12215).....	29
Figura 15: Paneles de fondo (Fuente: elaboración propia).....	30
Figura 16: Paneles de cubierta (Fuente: elaboración propia)	30
Figura 17: Paneles de costado (Fuente: elaboración propia).....	31
Figura 18: Paneles superiores de la caseta (Fuente: elaboración propia)	31
Figura 19: Paneles laterales de la caseta (Fuente: elaboración propia).....	31
Figura 20: Paneles de popa y proa de la caseta (Fuente: elaboración propia)	32
Figura 21: Refuerzos longitudinales (Fuente: elaboración propia)	33
Figura 22: Refuerzos transversales (Fuente: elaboración propia)	34
Figura 23: Baos (Fuente: elaboración propia)	34
Figura 24: Tela Roving (Fuente: www.fondear.org)	37
Figura 25: Madera de iroko (Fuente: www.fondear.org).....	38
Figura 26: Geometría de los refuerzos (Fuente: ISO12215).....	43

Figura 27: Motor Solé Diésel MINI29 (Fuente: web del fabricante)	44
Figura 28: Sistema de agua dulce (Fuente: elaboración propia).....	47
Figura 29: Sistema de achique (Fuente: elaboración propia)	49
Figura 30: Sistema eléctrico (Fuente: elaboración propia)	51
Figura 31: Hélice (Fuente: web del fabricante).....	54
Figura 32: Placas solares en la embarcación (Fuente: elaboración propia).....	55
Figura 33: Placas solares desplegadas (Fuente: elaboración propia).....	56
Figura 34: Sistema de propulsión eléctrica (Fuente elaboración propia).....	59

1. Introducció

Este proyecto contiene el estudio del diseño y reconversión de un llaut mallorquín con motor diésel, a uno completamente eléctrico. Considerando la importancia que tiene, cada vez más, el efecto negativo de la contaminación atmosférica sobre nuestro planeta, se ha dirigido la atención a la obtención de energías renovables a bordo, en este caso, la energía solar.

Hoy en día se sigue utilizando la fuerza del viento como sistema propulsor en algunas embarcaciones, sobre todo en el ámbito de la náutica de recreo y, además, se cuenta con la utilización de motores de combustión interna para obtener así una mayor potencia y poder superar la resistencia al avance que opone el agua en la mayoría de embarcaciones comerciales, mercantes y por supuesto, también en las de recreo. Ninguna de ellas de forma independiente resolvería los problemas de contaminación pero estas formas de propulsión sí presentan algunos inconvenientes y limitaciones.

En cuanto al viento, si éste no existe, no es posible mover la embarcación y la maniobrabilidad con este tipo de fuerza es muy limitada. Por otro lado, su aspecto más positivo es que no hay emisión de agentes contaminantes.

Los motores de combustión interna ofrecen una mayor potencia y maniobrabilidad, pero por otra parte las emisiones de agentes contaminantes son evidentes y perjudiciales para el medioambiente.

El futuro reside en embarcaciones propulsadas mediante energías renovables, de esta manera si se implementase un sistema de propulsión eléctrica recogida mediante placas fotovoltaicas para la carga de baterías, se puede obtener una embarcación con una maniobrabilidad igual a la que ofrece un barco con motor de combustión, pero eliminando las emisiones de gases contaminantes. De esta manera no se necesita de combustible fósil para vencer la resistencia al avance.

Este proyecto recoge varias fases de diseño, como la estructural, la de sistema eléctrico, sistema de achique, sistema de agua dulce y sistema de propulsión, para finalizar con la

estimación del ahorro energético y económico que, a la larga, puede suponer la instalación de placas solares en una embarcación de recreo.

2. Aspectos preliminares

En este capítulo se contemplan los aspectos a tener en cuenta antes de empezar el diseño. Primero ha de tenerse claro el tipo de embarcación que se quiere diseñar y las características que debe tener para realizar una base de datos que sirva de guía para iniciar el dimensionado del barco.

Junto al dimensionado se calculan varios coeficientes para, posteriormente, aproximar los valores computados por el programa Maxsurf a estos valores. Esto no siempre puede ser posible por las formas del casco que se ha diseñado en el propio programa o por la exactitud de los cálculos.

Una vez finalizada la introducción y comprobación de los datos en el programa se procede al pre-diseño, contemplado en el siguiente capítulo.

2.1. Consideraciones iniciales

La embarcación en cuestión pertenece a las embarcaciones que navegan en modalidad de desplazamiento o semi-planeo. Todas ellas poseen un casco de formas redondeadas en las que resaltan los grandes pantoques de la obra viva del barco. No navegan a gran velocidad por lo que se sabe que no se necesita de un motor con una gran propulsión y potencia, es decir, el consumo ya se sabe que no será muy elevado, por lo que ofrece una gran autonomía.

Inicialmente, este tipo de embarcaciones estaban construidas con madera en su totalidad, con el paso del tiempo y el descubrimiento de nuevos materiales que ofrecen mayor ligereza y rapidez de producción, se empezaron a construir los cascos, cubiertas y superestructura con fibra de vidrio. Los refuerzos se seguían construyendo con madera, lo que otorgaba gran dureza a la estructura interna de la embarcación.

En este caso, el diseño considera el uso de la fibra de vidrio para todas las superficies de la embarcación y madera para los refuerzos internos de la misma, así como la tapa regala y los mástiles.

Se pretende diseñar una embarcación de 8 metros de eslora que pueda navegar a una velocidad de crucero de 8 kn y velocidad punta de 10 kn y que esté alimentada únicamente con energía eléctrica.

Además de la propulsión eléctrica se pretende realizar la carga de las baterías de alimentación mediante un sistema de placas solares instalado en la propia embarcación y estudiar la viabilidad del sistema implementado.

2.2. Base de datos

Para el dimensionado y diseño básico de la embarcación se ha confeccionado una base de datos recogiendo conjuntos de datos de embarcaciones similares y, a partir de regresiones lineales, se obtienen las ecuaciones que relacionan las características básicas del buque para poder empezar a calcular las dimensiones características del casco. Se han elegido esloras menores a 12 m ya que este tipo de embarcación no suele superar dicha longitud, exceptuando la versión menorquina de los llauts, buscando una cierta homogeneidad para realizar las regresiones y que la desviación típica sea la menor posible.

Los datos básicos de las embarcaciones se han recogido de diferentes páginas web sobre venta de embarcaciones, así como de algunos fabricantes conocidos, como Majoni o Myabca. Esta información se ha clasificado en la base de datos por marcas como muestra la tabla (Tabla 1) a continuación.

Modelo	Eslora (m)	Manga (m)	Calado (m)	Puntal (m)	DWT (T)	Combustible (l)	Agua (l)
Copino 25	5	2	0,4		1		
Copino 30	5,99	2,39	0,6		1,5		40
Llaut 27	6,08	2,2		0,76	1,05	32	
Llaut 36 Cabinado	7	2,46	0,62		1,49	55	35
Llaut Mallorquí	6	2	0,3	0,75			
Llaut Mallorquí	6,37	2,4	0,5		2		
Llaut Mallorquí	6,7	2,2	0,5		2,5		
Llaut Mallorquí	7,36	2,52		0,88	3	100	100
Llaut Mallorquí	7,4	2,86		0,88	3,2		
Llaut Mallorquí	7,48	2,94		1	5,6	70	175
Llaut Mallorquí 25	5,2	1,96		0,76			
Llaut Mallorquí 40	7,89	2,86		0,88	2,75	100	100
Llaut tiburon 26	5	1,93	0,52		1,3	40	
Llaut Tiburón 26	5,13	2,16		0,97			
Llaut Tiburón 30	5,99	2,37		1,03			
Llaut Tiburón 37	6,99	2,63		1,17			
Llaut Tiburón 40	7,99	3,2		1,38			
Majoni 30	5,98	2,14	0,35		1,5		
Majoni 30C	5,98	2,21	0,35		1,5		
Majoni 30P	5,99	2,21	0,5		1,5		
Majoni 36C	7,3	2,57	0,7		2,3		
Majoni Calobra	5,98	2,14	0,3		1,58	60	50
Majoni Calobra	6	2,67	0,45		1,75	20	20
Majoni Mahon	5,98	2,14		0,73	2,12		
Majoni Migjorn	6,99	2,5	0,68		1,5	100	75
Myabca	4,58	1,75	0,4		1		
Myabca 26	7,5	2,9		1,1	2	200	120
Myabca 26	7,8	2,94		1,1	2		
Myabca M20T	6	2,26	0,4	0,88	1,5		

Tabla 1: Base de datos (Fuente: elaboración propia)

2.3. Dimensionamiento

Una vez realizada la base de datos, para estimar las dimensiones de la embarcación se realizan las gráficas de regresiones lineales para poder hallar las ecuaciones que relacionan las diferentes variables de las dimensiones. Se debe tener en cuenta que la mayoría de regresiones están en función de la eslora, ya que es el parámetro que se define en el proyecto.

- Manga, $B = f(\text{Eslora}, L)$
- Puntal, $D = f(\text{Eslora}, L)$
- Calado, $T = f(\text{Eslora}, L)$
- Potencia = $f(\text{Eslora}, L)$
- Calado, $T = f(\text{Manga}, B)$
- Combustible = $f(\text{Eslora}, L)$
- Agua = $f(\text{Eslora}, L)$
- Desplazamiento, $DWT = f(\text{Eslora}, L)$

A continuación, se pueden observar los gráficos realizados:

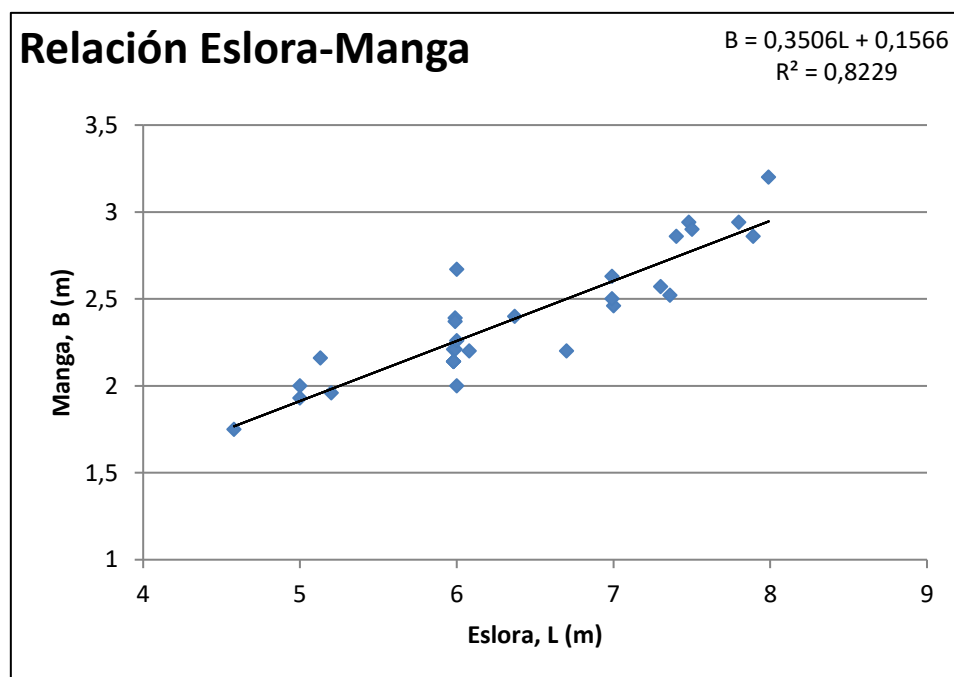


Figura 1: Gráfico de regresión lineal esloramanga (Fuente: elaboración propia)

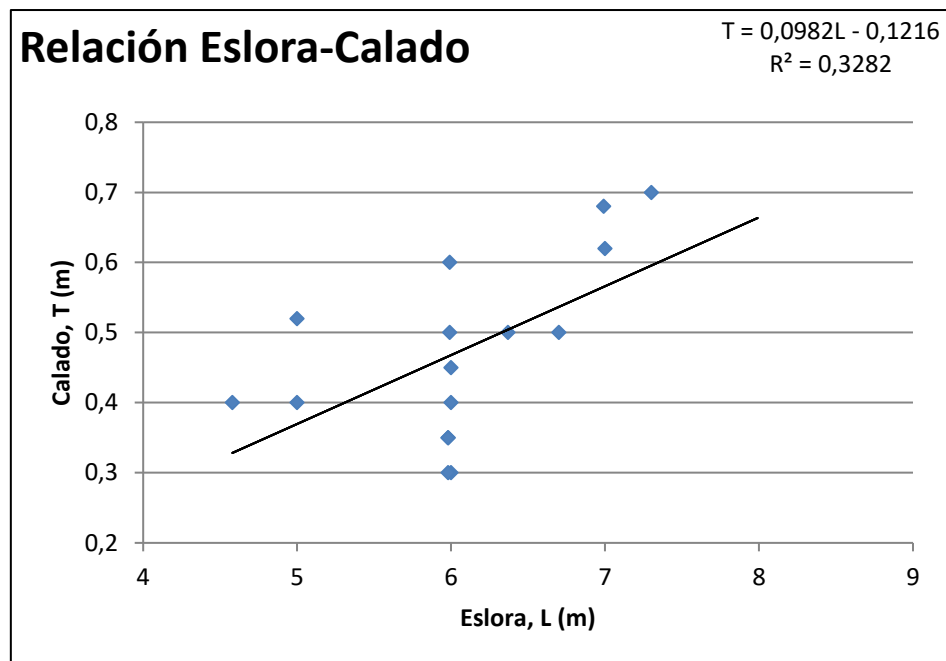


Figura 2: Gráfico de regresión lineal eslora-calado (Fuente: elaboración propia)

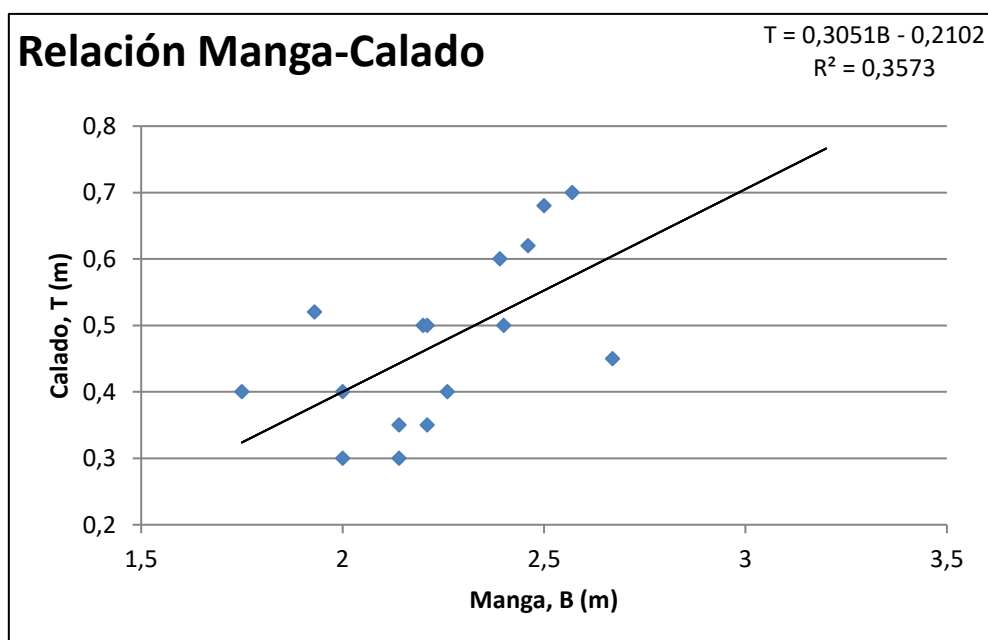


Figura 3: Gráfico de regresión lineal manga-calado (Fuente: elaboración propia)

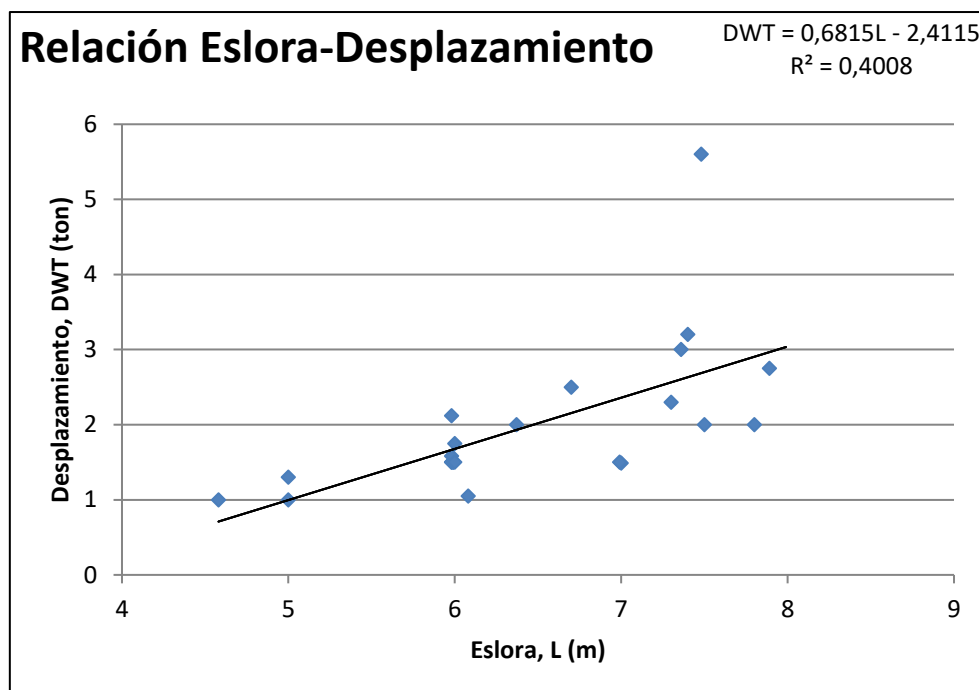


Figura 4: Gráfico de regresión lineal eslora-desplazamiento (Fuente: elaboración propia)

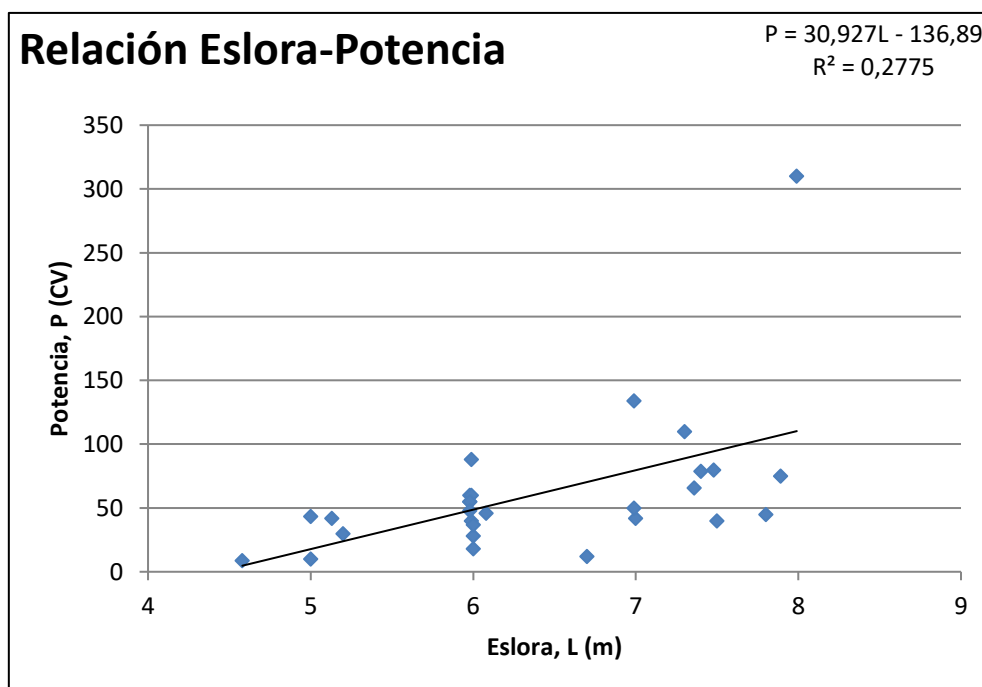


Figura 5: Gráfico de regresión lineal eslora-potencia (Fuente: elaboración propia)

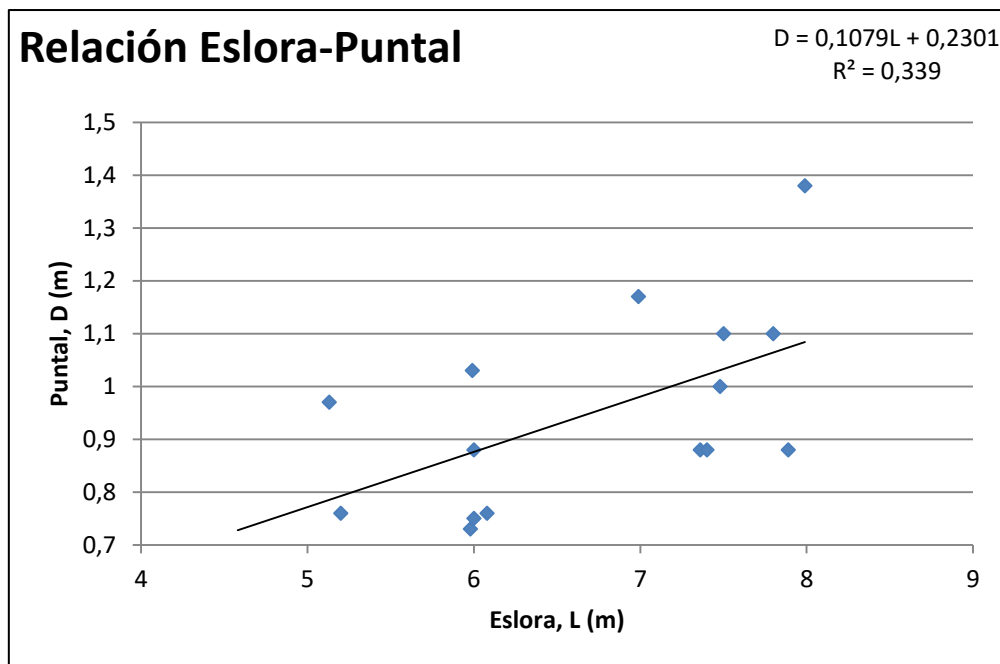


Figura 6: Gráfico de regresión lineal eslora-puntal (Fuente: elaboración propia)

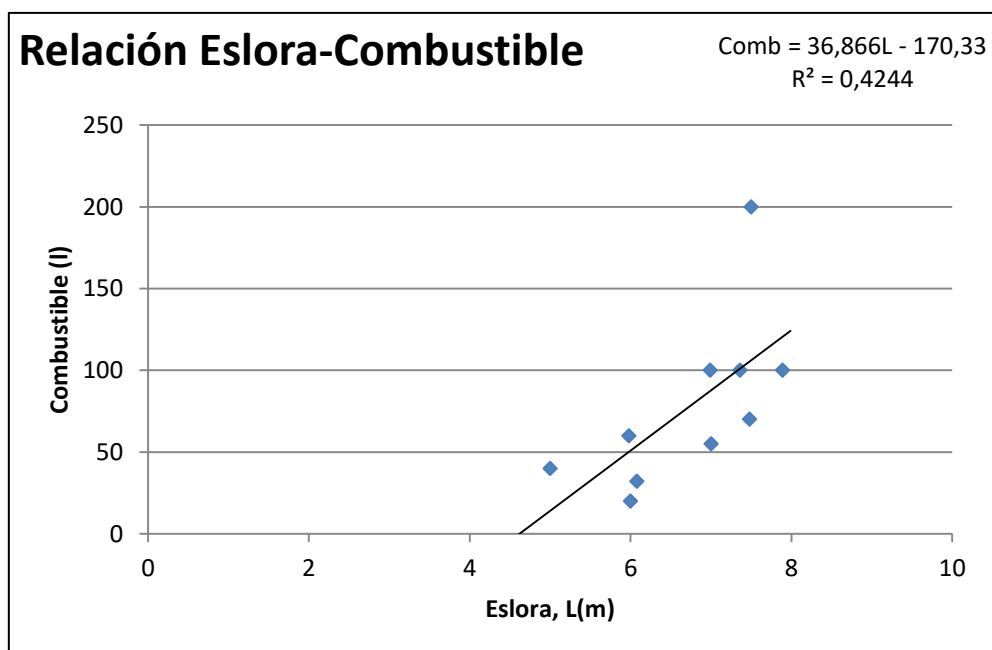


Figura 7: Gráfico de regresión lineal eslora-combustible (Fuente: elaboración propia)

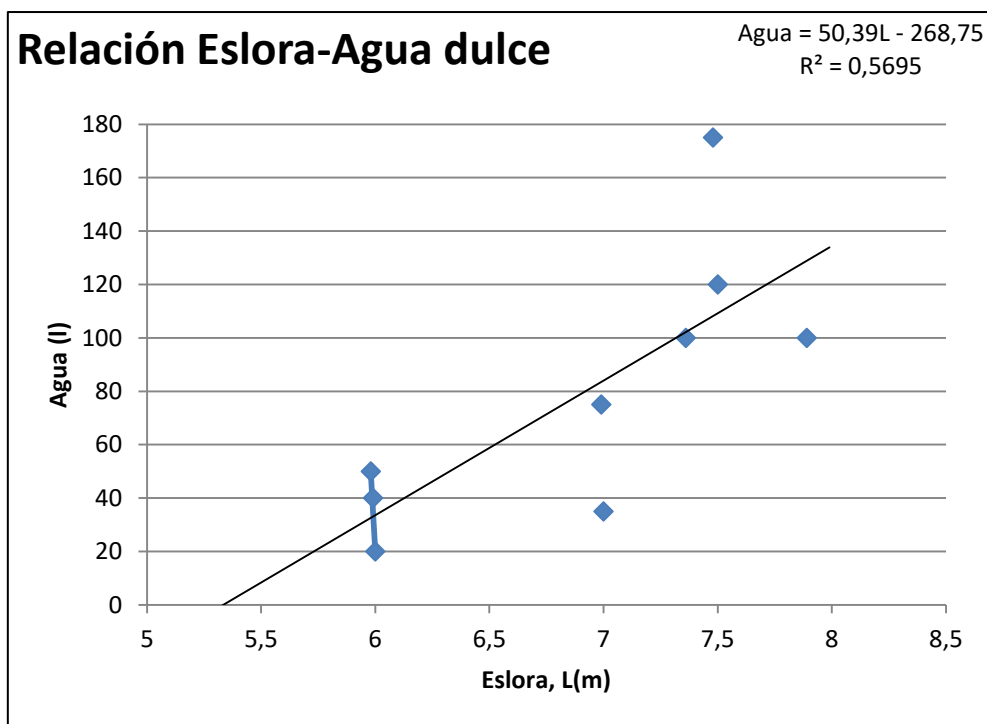


Figura 8: Gráfico de regresión lineal eslora-agua dulce (Fuente: elaboración propia)

De esta manera, entrando con una eslora de 8 metros se obtienen el resto de dimensiones del buque:

Eslora, L	8	metros
Manga, B	2,96	metros
Calado, T	0,56	metros
Puntal, D	1,21	metros
Desplazamiento	3,04	toneladas
Potencia	110,53	CV
Combustible	124,60	litros
Agua	134,37	litros

Tabla 2: Resultados regresiones (Fuente: elaboración propia)

2.4. Coeficientes de forma

Los coeficientes de forma dan una aproximación matemática de la forma del barco, relacionando ya sea el volumen o área que realmente ocupa la parte sumergida con el volumen o área que ocupa un paralelepípedo, un prisma o un paralelogramo que circunscribe el volumen o área sumergida.

Al buque lo definen los coeficientes de forma, prismático, de cuaderna maestra, el LCB y la relación del área sumergida del espejo.

Primero se debe calcular el número de Froude que es un número adimensional que relaciona el efecto de las fuerzas de inercia y las fuerzas de gravedad que actúan sobre un fluido. La ecuación que lo define es la siguiente:

$$Fn = \frac{V}{\sqrt{gL}} \quad , \text{ sustituyendo } Fn = \frac{8 \cdot 0.5144}{\sqrt{9.81 \cdot 8}} = 0.46$$

- El coeficiente de bloque es la relación entre los volúmenes de la carena de un casco y el del paralelepípedo que lo contiene. Se puede calcular con la siguiente ecuación:

$$Cb = \frac{DWT}{L \cdot B \cdot T} \quad , \text{ sustituyendo } Cb = \frac{3.04/1.025}{8 \cdot 2.96 \cdot 0.56} = 0.22$$

- El coeficiente prismático relaciona el volumen de carena, el área maestra y la eslora y es uno de los más influyentes sobre la distribución longitudinal del desplazamiento. Se puede estimar mediante la siguiente ecuación:

$$Cb = 0.5678 + 0.1535 \cdot Fn + 0.0701 \cdot Fn^2 \quad , \text{ sustituyendo } Cb = 0.66$$

- Se define como coeficiente de sección maestra a la relación entre las áreas de la sección maestra y el rectángulo que la circunscribe. Interesa que tenga un valor pequeño ya que ayuda a dispersar el flujo suavemente reduciendo así la resistencia al avance.

$$C_m = \frac{A_m}{B \cdot T}, \text{ donde } A_m = 0.527 \text{ (dato extraído de Maxsurf)}$$

$$\text{Entonces } C_m = 0.32$$

- El centro longitudinal de carena o LCB es la posición longitudinal del centro de flotación normalmente medida respecto a cualquiera de las perpendiculares de proa o popa. A velocidades elevadas el área sumergida del espejo de popa aumenta, y por consecuencia el LCB se desplaza hacia popa. Para valores de $Fn > 0.4$ se puede aproximar su valor a través de la siguiente fórmula:

$$LCB = -2.2189 + 12.3505 \cdot Fn - 5.4048 \cdot Fn^2, \text{ sustituyendo } LCB = 2.35 \%$$

2.5. Resultados

A continuación se muestra una tabla resumen (Tabla 3) que recoge los resultados dimensionales obtenidos mediante las regresiones y los resultados del cálculo de los coeficientes.

Eslora	8,00 m
Manga	2,96 m
Calado	0,56 m
Puntal	1,21 m
Desplazamiento	3,04 ton
Potencia	110,53 CV
Capacidad combustible	124,60 l
Capacidad agua	134,37 l
Numero de Froude	0,46
Coeficiente de bloque	0,22
Coeficiente prismático	0,66
Coeficiente de maestra	0,32
LCB%	2,35 %

Tabla 3: Resultados de regresiones y coeficientes (Fuente: elaboración propia)

Estos resultados pueden diferir de lo que serán los resultados finales, pero sirven para obtener una aproximación de lo que podrían ser las dimensiones principales del buque, así como la potencia y las capacidades de los tanques de combustible y de agua.

Todos los datos obtenidos son una guía básica para diseñar las formas del barco, ya que éstas se definirán sobre todo a partir del coeficiente de bloque, el cual se aproxima mediante el programa Maxsurf. Teniendo en cuenta los pesos de la embarcación, una buena parametrización de los datos en el programa ayudará a mejorar el casco y reducir la resistencia al avance y como consecuencia la potencia necesaria.

3. Pre-diseño

Este capítulo contempla la fase de pre-diseñado del llaut dividido en tres apartados.

Inicialmente se hace el pre-diseño del casco con los resultados obtenidos del apartado anterior y el estudio de la implantación de los flaps. A continuación se ha hecho una estimación de pesos en diferentes casos de carga y finalmente una estimación de la potencia necesaria para vencer la resistencia al avance.

3.1. Pre-diseño del casco

Se ha diseñado el casco de la embarcación a partir de un modelo prediseñado de Bentley ofrecido por el mismo programa. Éste ha sido modificado según el coeficiente de bloque para conseguir que sus características sean lo más parecidas a las obtenidas en los cálculos del apartado anterior.

Para las formas generales del barco se han buscado las formas redondeadas del pantoque propias de un llaut mallorquí. De ésta manera se consigue un casco de desplazamiento lo que supone una gran resistencia al avance. Para mejorar su navegación y reducir dicha resistencia, en popa se le insertarán unos flaps fijos por lo que gracias a la fuerza de sustentación que generan se mejorará la estabilidad y la flotabilidad.

A continuación se muestra una comparativa visual de la embarcación sin flaps (Figura 9) y con flaps (Figura 10).

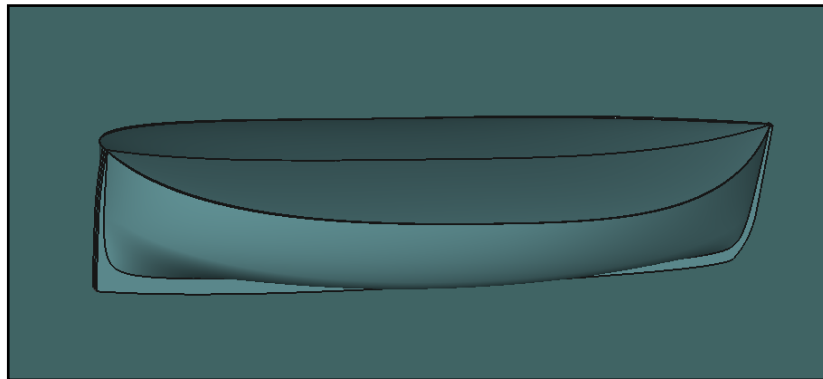


Figura 9: Casco sin flaps (Fuente: elaboración propia)

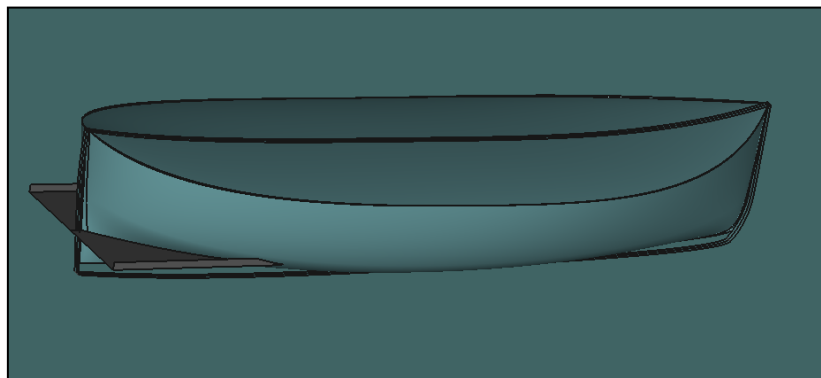


Figura 10: Casco con flaps (Fuente: elaboración propia)

La efectividad de los flaps depende de la superficie de ellos y de la velocidad a la que estemos navegando.

No solo cuenta la superficie total de los flaps. A misma superficie de flaps, es mejor utilizarlos más anchos que largos pues se consigue más empuje y menor resistencia hidrodinámica. En el caso ideal los flaps deberían ocupar casi toda la popa a cambio de tener muy poca longitud.

Antiguamente era normal encontrar flaps únicamente en barcos por encima de los 8 metros de eslora, y especialmente en barcos de semidesplazamiento tipo pesca o paseo, pero su efectividad ha hecho que ahora los veamos en barcos más pequeños incluso en pequeñas embarcaciones neumáticas o en lanchas de 5 metros de eslora y de todo tipo, como cabinadas, con bañera central, etc.

Este tipo de casco está diseñado para navegar en aguas someras y a mediana velocidad, por ello sus cascos son con frecuencia bastante redondeados e incómodos en aguas agitadas y de ola corta. Con los flaps se consigue bajar la proa y alcanzar un planeo más rápido para evita clavar la bañera dentro del agua consiguiendo una navegación más equilibrada.

Como se muestra a continuación, al añadir flaps se provoca una alteración de las características dimensionales y de forma de la embarcación generando una mejora de los parámetros de estabilidad.

Displacement	3,334 ton
Draft at FP	0,56 m
Draft at AP	0,56 m
Draft at LCF	0,56 m
Trim (+ve by stern)	0 m
WL Length	7,902 m
Beam max extents on WL	2,358 m
Wetted Area	16,938 m ²
Waterpl. Area	13,116 m ²
Prismatic coeff. (Cp)	0,639
Block coeff. (Cb)	0,312
Max Sect. area coeff. (Cm)	0,499
Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,704
LCB from zero pt. (+ve fwd)	3,807 m
LCF from zero pt. (+ve fwd)	3,789 m
KB	0,407 m
KG	0,56 m
BMt	1,349 m
BML	13,43 m
GMt	1,196 m
GML	13,277 m
KMt	1,756 m
KML	13,837 m
Immersion (TPc)	0,134 ton/cm

Tabla 4: Hidrostáticas del casco sin flaps (Fuente: elaboración propia)

Displacement	3,054 ton
Draft at FP	0,56 m
Draft at AP	0,56 m
Draft at LCF	0,56 m
Trim (+ve by stern)	0 m
WL Length	7,978 m
Beam max extents on WL	2,358 m
Wetted Area	16,575 m ²
Waterpl. Area	13,812 m ²
Prismatic coeff. (Cp)	0,592
Block coeff. (Cb)	0,283
Max Sect. area coeff. (Cm)	0,489
Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,734
LCB from zero pt. (+ve fwd)	3,981 m
LCF from zero pt. (+ve fwd)	3,618 m
KB	0,416 m
KG	0,56 m
BMt	1,642 m
BML	17,242 m
GMt	1,498 m
GML	17,097 m
KMt	2,058 m
KML	17,657 m
Immersion (TPc)	0,142 ton/cm

Tabla 5: Hidrostáticas del casco con flaps (Fuente: elaboración propia)

3.2. Estimación de pesos

Una vez obtenidas las dimensiones y características principales del buque y haber diseñado el casco, se procede a realizar una estimación de pesos que nos dará a conocer el centro de gravedad aproximado que tendrá la embarcación.

El centro de gravedad es un punto a tener en cuenta, ya que al ser una embarcación de recreo de poca eslora, una pequeña variación de este afectaría notablemente en la estabilidad y confort final.

A continuación, se muestra una tabla con la estimación de pesos de la embarcación funcionando con un motor de combustible convencional. Los elementos de la misma se definen mediante el centro de sus coordenadas en los tres ejes dimensionales, con el fin de deducir los momentos y el centro de gravedad para varios casos de carga.

	Peso (kg)	X (m)	Y (m)	Z (m)	Mx (kg*m)	My (kg*m)	Mz (kg*m)
Estructura principal	1320	4,2	0	0,96	5544	0	1270,5
Casco	550	4,1	0	0,75	2255	0	412,5
Cubierta	350	4	0	1,05	1400	0	367,5
Refuerzos	220	3,9	0	0,75	858	0	165
Cabina y toldilla	200	4,8	0	1,3	960	0	260
Sala máquinas	350	1,44	0,15	0,34	504,58	52,5	119,58
Propulsión	225	1,38	0	0,28	311,25	0	63,75
Motor	140	2,6	0	0,4	364	0	56
Ejes	50	1,35	0	0,25	67,5	0	12,5
Hélice	35	0,2	0	0,2	7	0	7
Sistema eléctrico	125	1,5	0,3	0,4	187,5	37,5	50
Batería	120	1,5	0,6	0,4	180	72	48
Cargador	5	1,5	0	0,4	7,5	0	2
Mobiliario y interiores	550	5,47	0	1	3006,67	0	550
Pique de proa	150	7,8	0	0,8	1170	0	120
Mamparos	250	3,8	0	0,7	950	0	175
Camarote	150	4,8	0	1,5	720	0	225

Tabla 6: Estimación de pesos parte 1 (Fuente: elaboración propia)

	Peso (kg)	X (m)	Y (m)	Z (m)	Mx (kg*m)	My (kg*m)	Mz (kg*m)
Sistemas	140	1,28	0,15	0,92	179,67	21	128,33
Gobierno	20	0,2	0	0,9	4	0	18
Combustible	70	0,15	0	0,85	10,5	0	59,5
Eléctrico	50	3,5	0,45	1	175	22,5	50
Amarre y fondeo	105	7,87	0	0,77	826	0	80,5
Ancla de proa	15	7,9	0	0,75	118,5	0	11,25
Molinete	10	7,8	0	0,8	78	0	8
Cadena	80	7,9	0	0,75	632	0	60
Estiba	500	4	0	1,05	2000	0	525
Estiba varia	500	4	0	1,05	2000	0	525

Tabla 7: Estimación de pesos parte 2 (Fuente: elaboración propia)

A continuación se muestran los resultados obtenidos de la estimación de pesos en tres situaciones de carga. La primera es carga máxima y contempla el 100% de la estiba, la segunda media carga contemplando el 50% de la estiba y por último en peso en rosca, es decir, sin estiba.

	Peso (kg)	X (m)	Y (m)	Z (m)	Mx (kg*m)	My (kg*m)	Mz (kg*m)
Carga máxima	2965	4,04	0,05	0,84	11987,66	148,25	2489,36
Media carga	2715	4,04	0,05	0,84	10976,90	135,75	2279,47
Peso en rosca	2465	3,38	0,05	0,66	8322,80	123,25	1638,20

Tabla 8: Resultados estimación de pesos en distintas situaciones de carga (Fuente: elaboración propia)

Una vez obtenida una primera estimación de los pesos se puede observar como hay un momento en el eje x muy elevado, lo que podría causar inestabilidad longitudinal. También existe un momento elevado en el eje y, lo que ocasiona que el barco pueda escorar demasiado. Estas imperfecciones se irán corrigiendo a lo largo del proyecto con el fin de mejorar el confort y la estabilidad en la navegación.

3.3. Estimación de potencia y resistencia al avance

Mediante el programa Maxsurf se elegirá el mejor método para el cálculo de la resistencia al avance y la correspondiente potencia para superarla. Para ello existen diversos métodos con los que calcular dichos valores.

No se contemplan todos aquellos métodos destinados a embarcaciones que navegan en régimen de desplazamiento debido a que los métodos planteados no son válidos para ciertos coeficientes de la embarcación, puesto que la velocidad de la embarcación no llega a regímenes de planeo se utiliza el método de Savitsky pre-planning, el cual ofrece resultados a velocidades a partir de 7 kn. En cambio, el método Savitsky planning ofrece resultados a velocidades más elevadas a las que la embarcación no pretende llegar.

Mediante este método se obtienen los siguientes valores de resistencia al avance (Figura 11 y Tabla 9) y potencia (Figura 12 y Tabla 10) para la embarcación sin y con flaps.

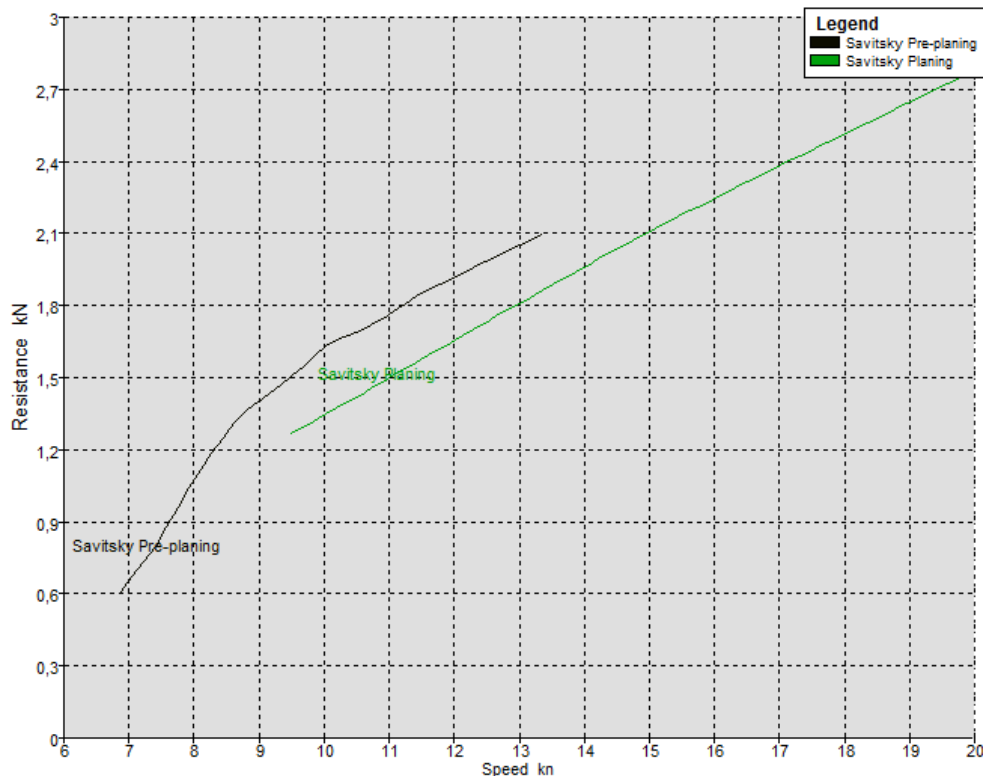


Figura 11: Gráfico comparativo de métodos de estimación de resistencia (Fuente: elaboración propia)

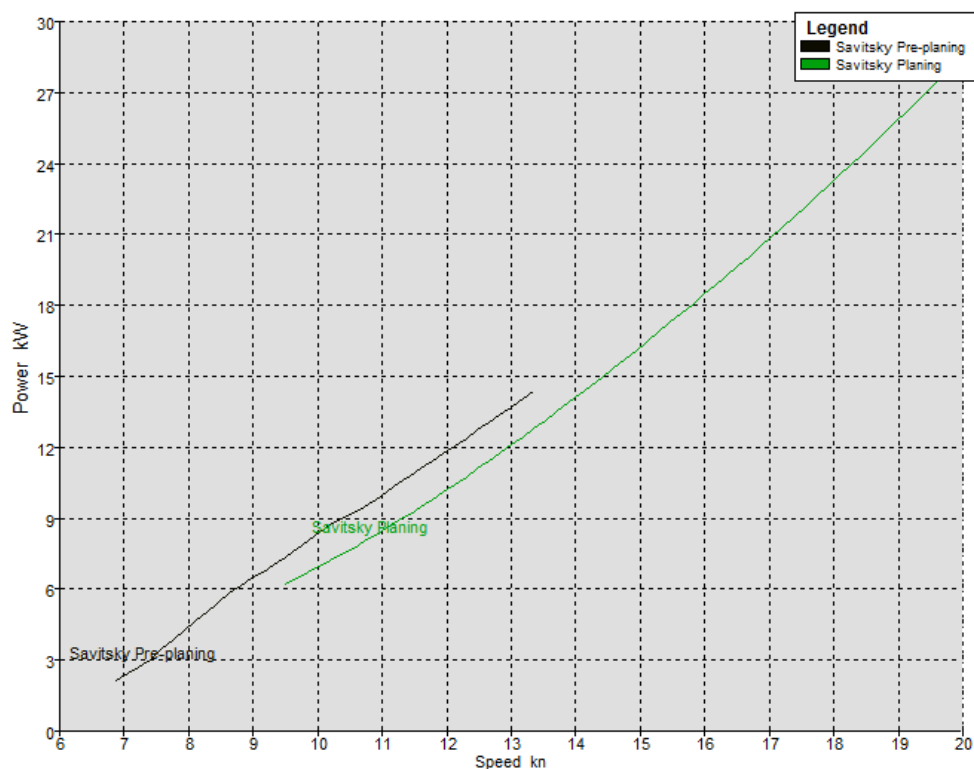


Figura 12: Gráfico comparativo de métodos de estimación de potencia (Fuente: elaboración propia)

Como se muestra en los gráficos el método Savitsky pre-planning ofrece mayores resultados para el rango de velocidades de diseño a los que la embarcación pretende navegar, de 8 a 10 kn.

El método Savitsky planning empieza a calcular a partir de 9,5 kn aproximadamente, casi la velocidad punta de diseño de la embarcación. Por lo que se puede decir que este método queda descartado.

A continuación se muestran los datos tabulados de los calculados de la estimación de potencia y resistencia en función de la velocidad y del número de Froude.

Velocidad (kn)	Numero de Froude LWL	Numero de Froude Vol.	Resistencia (kN)	Potencia (kN)
0	0	0	--	--
0,5	0,029	0,067	--	--
1	0,058	0,135	--	--
1,5	0,088	0,202	--	--
2	0,117	0,27	--	--
2,5	0,146	0,337	--	--
3	0,175	0,405	--	--
3,5	0,205	0,472	--	--
4	0,234	0,54	--	--
4,5	0,263	0,607	--	--
5	0,292	0,674	--	--
5,5	0,321	0,742	--	--
6	0,351	0,809	--	--
6,5	0,38	0,877	--	--
7	0,409	0,944	--	--
7,5	0,438	1,012	1,5	5,977
8	0,468	1,079	2,1	8,818
8,5	0,497	1,147	2,7	11,62
9	0,526	1,214	3,1	14,361
9,5	0,555	1,281	3,4	16,676
10	0,584	1,349	3,6	18,64
10,5	0,614	1,416	3,8	20,284
11	0,643	1,484	3,8	21,25
11,5	0,672	1,551	3,8	22,644
12	0,701	1,619	3,9	24,153
12,5	0,73	1,686	4	25,529
13	0,76	1,754	4	26,922

**Tabla 9: Estimación de resistencias y potencias del casco sin flaps con el método Savitsky pre-planning
(Fuente: elaboración propia)**

Velocidad (kn)	Numero de Froude LWL	Numero de Froude Vol.	Resistencia (kN)	Potencia (kN)
0	0	0	--	--
0,5	0,029	0,074	--	--
1	0,058	0,149	--	--
1,5	0,087	0,223	--	--
2	0,116	0,297	--	--
2,5	0,145	0,372	--	--
3	0,174	0,446	--	--
3,5	0,204	0,521	--	--
4	0,233	0,595	--	--
4,5	0,262	0,669	--	--
5	0,291	0,744	--	--
5,5	0,32	0,818	--	--
6	0,349	0,892	--	--
6,5	0,378	0,967	--	--
7	0,407	1,041	0,7	2,349
7,5	0,436	1,116	0,8	3,252
8	0,465	1,19	1,1	4,43
8,5	0,494	1,264	1,3	5,534
9	0,523	1,339	1,4	6,498
9,5	0,553	1,413	1,5	7,353
10	0,582	1,487	1,6	8,351
10,5	0,611	1,562	1,7	9,135
11	0,64	1,636	1,8	9,978
11,5	0,669	1,711	1,8	10,933
12	0,698	1,785	1,9	11,836
12,5	0,727	1,859	2	12,761
13	0,756	1,934	2,1	13,711

Tabla 10: Estimación de resistencias y potencias del casco con flaps con el método Savitsky pre-planning (Fuente: elaboración propia)

Como se aprecia en las tablas de datos anteriores los niveles de resistencia de la embarcación con flaps se reducen casi a la mitad comparándolos a los niveles de la embarcación sin flaps proporcionando un ahorro energético considerable.

Por este motivo y todos los motivos comentados anteriormente, a partir de aquí todos los cálculos se realizarán con el modelo de casco de la embarcación con flaps, siendo estos integrados en el diseño definitivo.

Para determinar la potencia real, se debe considerar los márgenes de potencia de pérdidas del motor y la fuerza del oleaje. Se aumenta un 10% el valor de la potencia del motor para así tener en cuenta el oleaje y se aumenta un 20% la potencia del motor para margen de trabajo del mismo.

$$BHP = EHP/0.5$$

$$BHP (10\%) = BHP * 1.1$$

$$BHP (20\%) = BHP * 1.2$$

Donde:

- EHP es la potencia efectiva o de remolque
- BHP es la potencia de freno asumiendo un rendimiento propulsivo de 0,5.

La siguiente tabla muestra los valores de la resistencia y la potencia calculada en un margen de velocidad de 7 a 13 kn.

Velocidad (kn)	Resistencia (kN)	Potencia (kW)	EHP (kW)	BHP (kW)	BHP10% (kW)	BHP20% (kW)	BHP (CV)
7,0	0,7	2,35	2,52	5,04	5,55	6,05	6,76
7,5	0,8	3,25	3,09	6,17	6,79	7,41	8,28
8,0	1,1	4,43	4,53	9,05	9,96	10,87	12,1
8,5	1,3	5,534	5,69	11,37	12,51	13,65	15,2
9,0	1,4	6,50	6,48	12,96	14,26	15,56	17,38
9,5	1,5	7,35	7,33	14,66	16,13	17,59	19,66
10,0	1,6	8,35	8,23	16,46	18,11	19,75	22,08
10,5	1,7	9,14	9,18	18,37	20,20	22,04	24,63
11,0	1,8	9,98	10,19	20,37	22,41	24,45	27,32
11,5	1,8	10,93	10,65	21,30	23,43	25,56	28,56
12,0	1,9	11,84	11,73	23,46	25,80	28,15	31,46
12,5	2,0	12,76	12,86	25,72	28,29	30,87	34,49
13,0	2,1	13,71	14,04	28,09	30,90	33,71	37,67

Tabla 11: Resistencia y potencias. (Fuente: elaboración propia)

Una vez realizado el sobredimensionado de la potencia necesaria, se obtiene que para alcanzar una velocidad de 8 kn se necesitará una potencia de 10,87 kW.

Para proporcionar la potencia necesaria se ha escogido un motor de la marca Solé Diésel que ofrece una potencia de 20 kW y un consumo de 3.5 l/h para una velocidad de proyecto de 8 kn. Las características son las siguientes:

Modelo:	MINI-29
Fabricante motor base:	Mitsubishi
Potencia intermitente:	20,0 kW - 27,2 CV
RPM máximas:	3600
Nº de tiempos:	4
Nº cilindros y disposición:	3 - In line
Diámetro cilindro y carrera:	76,0 - 70 mm
Cilindrada:	952 cc
Sistema aspiración:	Naturally aspirated
Voltaje estándar:	12 V

Tabla 12: Características del motor (Fuente: web del fabricante)

Finalmente, se muestra una figura de como sería el diseño inicial del casco, implementando los flaps, las dimensiones finales y con la línea de agua marcada al calado ya predefinido ($T = 0,56$ m).

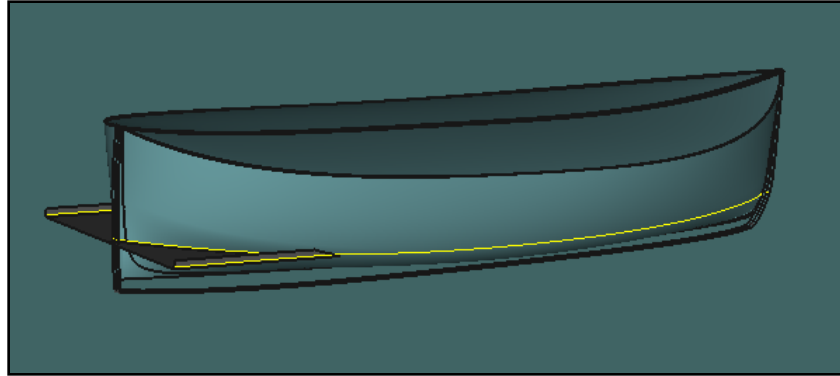


Figura 13: Casco con flaps y línea de agua (Fuente: elaboración propia)

4. Disposición estructural

Para realizar los cálculos del escantillonado del casco, cubierta, caseta y dimensiones de los refuerzos internos, se ha consultado la normativa *UNE-EN ISO 12215-5:2008*. Tal y como indica la normativa, se divide la embarcación en diversas zonas para el laminado.

A continuación, se muestra una figura en la que se ven claramente diferenciadas dichas zonas:

- Zona 1: Fondo del casco de la embarcación
- Zona 2: Costado del casco de la embarcación
- Zona 3: Cubierta
- Zona 4: Costados de la superestructura o caseta
- Zona 5: Parte superior de la superestructura o caseta

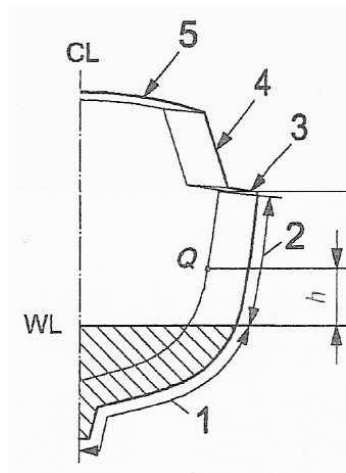


Figura 14: Zonas de escantillonado (Fuente: ISO12215)

La superestructura se apoyará en los refuerzos transversales de cubierta (baos) y sobre los mamparos interiores, los cuales están diseñados con la misma presión que la cubierta.

4.1. Distribución de paneles de laminado

Los paneles tanto del casco, cubierta como superestructura, se han diseñado teniendo en cuenta las formas de la embarcación y facilitando la geometría de dichos paneles. Así se ha respetado la posición de los refuerzos naturales, como es el caso de la quilla, y también la simetría del barco. A continuación, se pueden observar las zonas descritas anteriormente divididas en paneles de laminado:

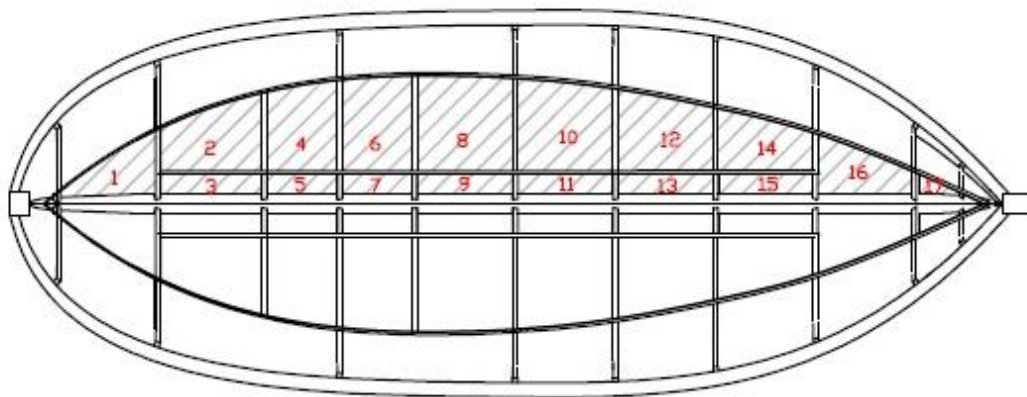


Figura 15: Paneles de fondo (Fuente: elaboración propia)

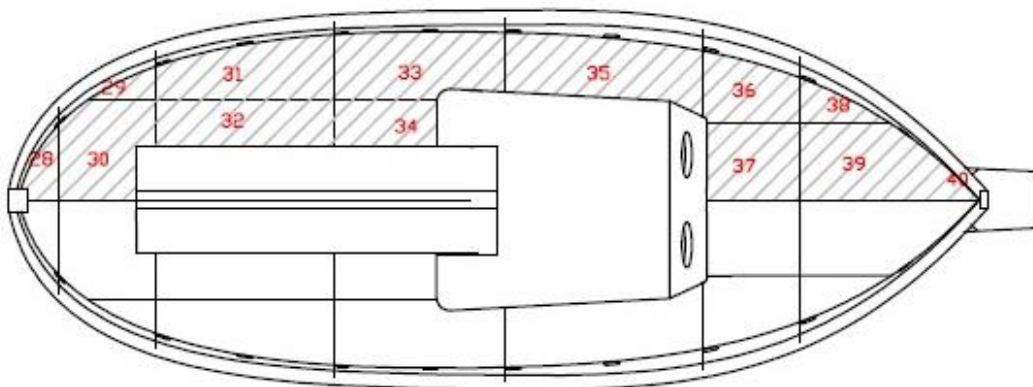


Figura 16: Paneles de cubierta (Fuente: elaboración propia)

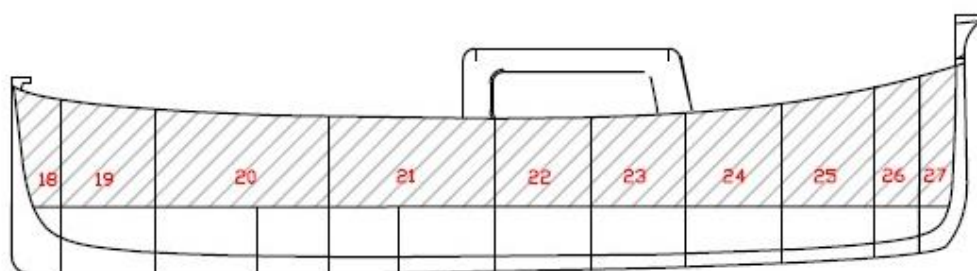


Figura 17: Paneles de costado (Fuente: elaboración propia)

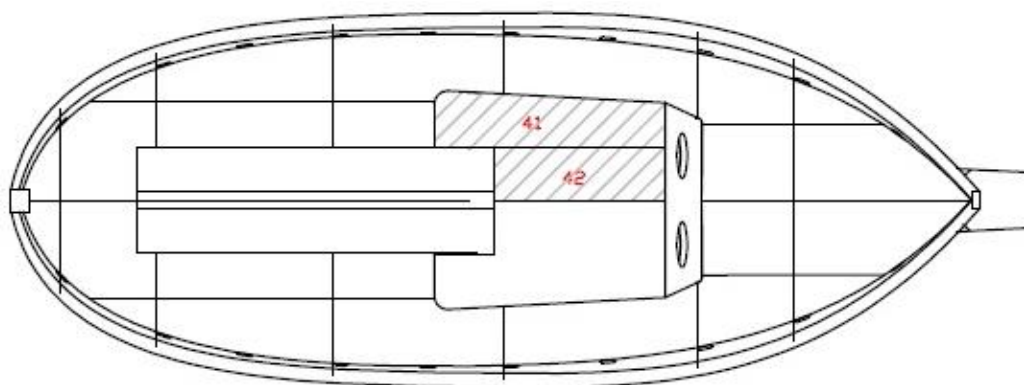


Figura 18: Paneles superiores de la caseta (Fuente: elaboración propia)

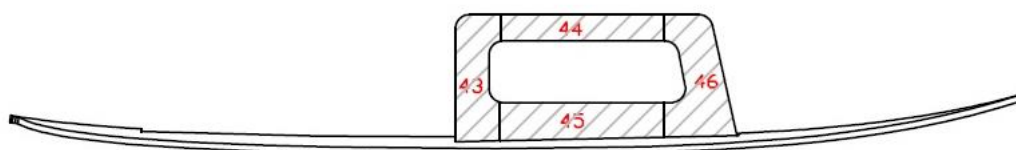


Figura 19: Paneles laterales de la caseta (Fuente: elaboración propia)

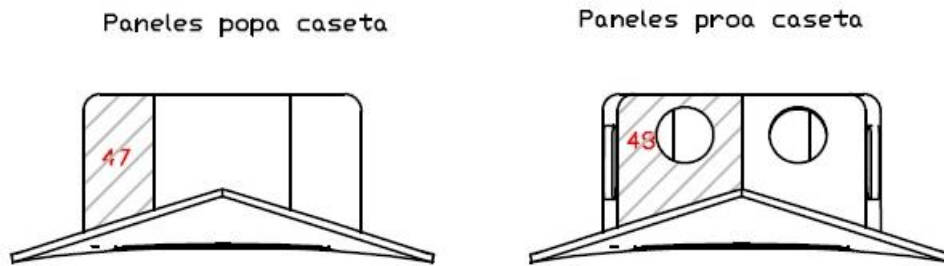


Figura 20: Paneles de popa y proa de la caseta (Fuente: elaboración propia)

4.2. Distribución de refuerzos

La distribución de los refuerzos se ha realizado en función de la disposición del motor, los tanques de agua dulce y la posición de la superestructura. También se tiene en cuenta los mamparos interiores del motor y el interior de la cabina.

Se distinguen diferentes refuerzos:

- Refuerzos longitudinales de fondo: además de la propia quilla de la embarcación se han dispuesto dos refuerzos longitudinales que además de dar rigidez al casco, servirán como soporte del motor, es decir, desempeñarán la función de bancada del motor.
- Refuerzos longitudinales de costado: se dispone uno en cada lado del barco.
- Refuerzos transversales: se disponen de babor a estribor a lo largo de toda la embarcación, con una cierta separación entre ellas y comparten la zona del fondo y la zona del costado, los mamparos se apoyarán sobre éstos. Se deberán dimensionar con la presión de diseño del fondo, debido a que es la mayor de todas.
- Baos: se disponen de babor a estribor y a lo largo de toda la embarcación, refuerzan la cubierta además de ser un apoyo para la superestructura.

A continuación, se muestran diversas imágenes de la disposición de los refuerzos:

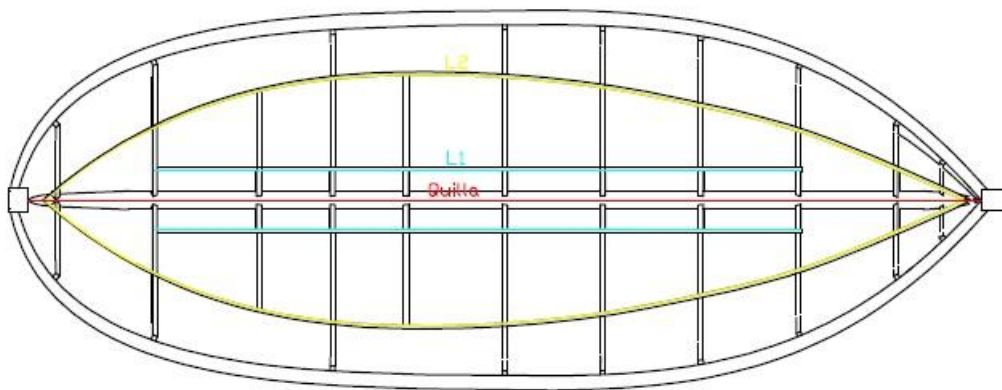


Figura 21: Refuerzos longitudinales (Fuente: elaboración propia)

Se pueden observar diferentes refuerzos longitudinales, la propia quilla de la embarcación y los refuerzos L1 y L2, estos pertenecen a los refuerzos del fondo y costado respectivamente.

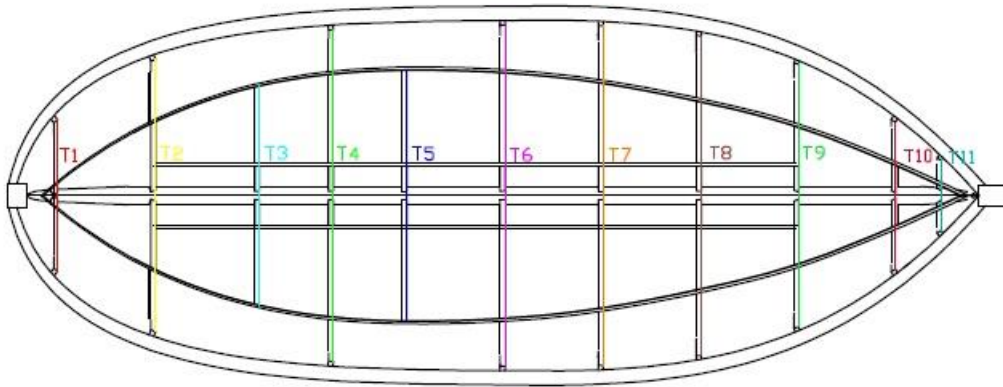


Figura 22: Refuerzos transversales (Fuente: elaboración propia)

Juntamente con los refuerzos L1 de fondo, los refuerzos transversales T3, T4 y T5 servirán como refuerzos para soportar la carga del motor, de esta manera el espaciado entre los transversales T3, T4 y T5 es de 0.6 m. El espaciado de los transversales T10 y T11 de la embarcación es de 0.5m, así se refuerza la zona de la proa en la cual se producirán tensiones mayores debido a la fuerza del oleaje. Finalmente el espaciado del resto de transversales es de 0.85 m.

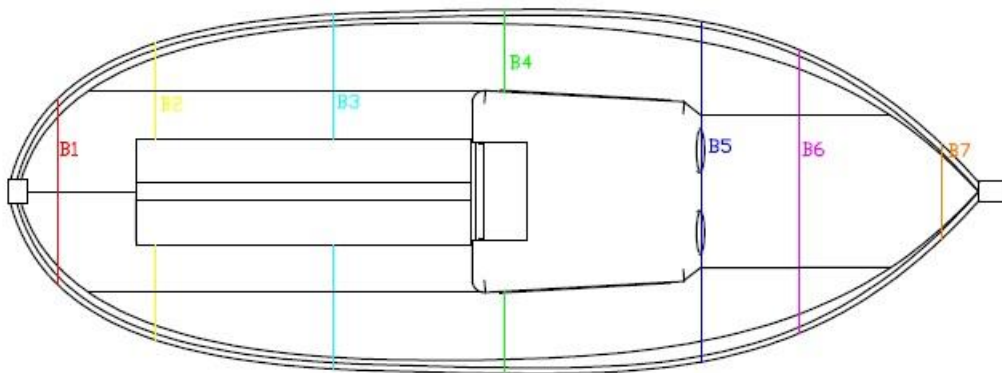


Figura 23: Baos (Fuente: elaboración propia)

Los refuerzos de la cubierta, también llamados Baos, son los encargados de reforzar la cubierta de la embarcación y en este caso los refuerzos B4 y B5 también servirán para reforzar la caseta. El espaciado entre B1, B2, B5 y B6 es de 0.8 m, entre B2, B3 y B6 y B7 la distancia es de 1.15 m y entre B4 y B5 de 1.5 m.

5. Escantillonado

Para determinar el espesor del laminado del casco, se utilizan las fórmulas de presión de diseño que facilita la normativa *UNE-EN ISO 12215-5:200* para embarcaciones a motor que navegan a velocidad de desplazamiento, puesto que según normativa esta embarcación navega a velocidad de desplazamiento, aunque se puede considerar pre-planeo para el cálculo de resistencia debido a que se navega por encima de la velocidad mínima permisible para el método requerido.

La fórmula utilizada para determinar la utilización de las fórmulas de presión de diseño es la siguiente:

$$\frac{V}{\sqrt{L_{WL}}} < 5$$

Donde:

- V : velocidad de proyecto, expresada en kn .
- L_{WL} : eslora de flotación, expresada en m .

Para dimensionar los refuerzos se deben realizar los cálculos de diferentes parámetros siguiendo la normativa mencionada. Una vez realizados los cálculos, la misma normativa ofrece una tabla con los diferentes tipos de refuerzos, para elegir el refuerzo correcto se debe comparar los valores de los módulos de inercia y sección obtenidos con los de la tabla y así obtener el perfil de refuerzo adecuado.

5.1. Materiales

Antiguamente este tipo de embarcaciones se construían a mano con métodos artesanales y siempre utilizando la madera como material. Las técnicas de construcción requerían de mucha especialización y la producción de las embarcaciones era escasa.

Hoy en día está muy extendida la utilización de la resina de poliéster reforzada con fibra de vidrio, puesto que es un material que ofrece mucha resistencia, es ligero, resistente a la corrosión y económicamente asequible. Existe una gran variedad de fibras de vidrio con diferentes prestaciones, aunque todas ellas son muy similares entre sí. Cabe destacar las más utilizadas en el mundo naval:

- Fibra de vidrio MAT: es la más económica y si se utiliza conjuntamente con otras fibras pueden proporcionar resultados resistentes mecánicamente y asequibles económicamente. Existen diversos tipos con diferente gramaje.
- Fibra de vidrio Roving: ofrece unas características mecánicas muy buenas en relación al precio que tiene, aunque es más cara que las MAT.
- Fibra de vidrio Kevlar: es la fibra tal y como se obtiene de su fabricación, ofrece características muy buenas aunque económicamente más caro
- Fibra de carbono: es la más utilizada en la alta competición debido a su gran resistencia y ligereza, económicamente es la más cara.

En el caso de esta embarcación se utiliza Roving ya que es una de las fibras que mejores prestaciones presenta en relación a su precio. Es un tejido fabricado a partir de filamentos dispuestos en horizontal y vertical dispuestos 90º entre sí, haciendo que sea de vital importancia la orientación de éstas fibras para que el material soporte las cargas adecuadamente.

Se debe tener especial cuidado con las fibras, debido a que es un material orto trópico, es decir, sus propiedades mecánicas o térmicas varía en función de la dirección de aplicación de la carga. Para ello se debe tener en cuenta cómo actuará la carga sobre el material y así colocarlo en el sentido en el que sus propiedades mecánicas sean lo más favorables para el caso estudiado.

Para otorgar dureza a dichas telas se utilizan las resinas sintéticas, son compuestos químicos termoplásticos derivados de la destilación del petróleo y están clasificadas dentro de la familia de los plásticos, denominados técnicamente polímeros. Tienen una buena resistencia a la compresión térmica y mecánica. Su endurecimiento se consigue a temperatura ambiente, mediante la adición de un catalizador (peróxido de metil etil cetona). Dependiendo de la categoría de la resina, en ocasiones será necesaria la ayuda de un acelerante (octoato de cobalto) para conseguir el endurecimiento adecuado.

Para finalizar con el casco se aplicarán el gel coat y el top coat, el primero se utiliza para la protección del laminado contra el medioambiente y presentar una capa menos rugosa y el segundo se utilizará como acabado final para proteger aún más contra el medioambiente y otorgar así una capa fina que también disminuirá la resistencia al avance, aunque a efectos teóricos no se tiene en cuenta.

En la siguiente imagen se puede observar el aspecto de la tela Roving.



Figura 24: Tela Roving (Fuente: www.fondear.org)

En cuanto a los refuerzos, se utilizará madera para su construcción, existen una gran variedad de maderas para utilizar, en este caso se busca una madera que ofrezca gran resistencia y se optará por utilizar madera de iroko la cual posee una densidad de 650 kg/m^3 , lo que la hace una madera pesada que aportará cierta estabilidad a la embarcación. Esta madera también posee la propiedad de facilitar la elaboración de piezas largas, lo que la convierte en un buen material para la fabricación de los refuerzos y elementos de madera de la embarcación.

Los refuerzos no son los únicos elementos que estarán hechos de madera, los mástiles y la tapa regala también estarán hechos de madera, para otorgar peso a la embarcación también se construyen en madera de iroko.

A continuación se muestra el aspecto de la madera de iroko antes de su procesado.



Figura 25: Madera de iroko (Fuente: www.fondear.org)

5.2. Escantillonado de los paneles

Para realizar el escantillonado de los paneles de laminado se tiene que calcular la presión a la que están sometidos cada uno. Ésta será diferente dependiendo de la zona en la que se encuentre el panel, para ello se recurrirán a las fórmulas y procedimientos que facilitan la normativa *UNE-EN ISO 12215-5:2008*.

Para los paneles de fondo se utiliza las siguientes fórmulas:

$$P_{bmdbase} = (2.4 * m_{ldc}^{0.33} + 20)$$

La presión de fondo será la mayor de las siguientes:

$$P_{bmd} = P_{bmdbase} * k_{DC} * k_L * k_{AR}$$

$$P_{bmin} = 0.45 * m_{ldc}^{0.33} + 0.9 * k_{DC} * L_{WL}$$

Donde:

- m_{ldc} : desplazamiento a carga máxima, dado en kg .
- $P_{bmdbase}$: presión base del fondo que se debe tener en cuenta, expresada en kN/m^2 .
- P_{bmd} : presión de los paneles de fondo, expresada en kN/m^2 .
- P_{bmin} : presión mínima en los paneles de fondo, expresada en kN/m^2 .
- k_{DC} : tomará valor 0.6 al ser una embarcación de categoría C.
- k_L : factor de impacto longitudinal, se puede obtener en la normativa *UNE-EN ISO 12215-5:2008*
- k_{AR} : factor de reducción de área, se puede obtener en la normativa *UNE-EN ISO 12215-5:2008*
- L_{WL} : Eslora en línea de flotación.

Para los paneles de costado se utiliza las siguientes fórmulas, la presión será la mayor de las dos:

$$P_{smd} = [P_{DMBASE} + k_Z * (P_{bmdbase} - P_{DMBASE})] * k_{AR} * k_{DC} * k_L$$

$$P_{SMIN} = 0.9 * L_{WL} * k_{DC}$$

Donde:

- P_{smd} : presión del costado de la embarcación, expresada en kN/m^2 .
- P_{SMIN} : presión mínima en el costado de la embarcación, expresada en kN/m^2 .
- k_Z : factor de distribución vertical de presión, se puede obtener consultando la normativa *UNE-EN ISO 12215-5:2008*.

Para los paneles de la cubierta y mamparos se utiliza la siguiente fórmula:

$$P_{DM} = P_{DMBASE} * k_{DC} * k_{AR} * k_L$$

$$P_{DMBASE} = 0.35 * L_{WL} + 14.6$$

$$P_{DMIN} = 5$$

Donde:

- P_{DM} : presión en la cubierta de la embarcación, expresada en kN/m^2 .
- P_{DMBASE} : presión base a tener en cuenta en la cubierta de la embarcación, expresada en kN/m^2 .
- P_{DMIN} : presión mínima en la cubierta de la embarcación, expresada en kN/m^2 .

Para la caseta se utiliza la siguiente fórmula:

$$P_{HM} = P_{DMBASE} * k_{DC} * k_{AR} * k_{SUP}$$

Donde:

- P_{HM} : presión en la superestructura o caseta de la embarcación, expresada en kN/m^2 .
- k_{SUP} : factor de distribución de presión en la caseta, para obtener los valores se debe consultar la normativa *UNE-EN ISO 12215-5:2008*

Una vez obtenidas las presiones de diseño de la embarcación se procede a calcular el espesor mínimo requerido para soportar dichas presiones. La fórmula a utilizar es la siguiente:

$$t = b * k_c * \sqrt{\frac{P * k_2}{1000 * \sigma_d}}$$

Donde:

- t : espesor requerido de los paneles, expresado en mm .
- b : lado corto del panel, expresado en mm .
- k_c : corrección de curvatura, consultar en la normativa *UNE-EN ISO 12215-5:2008*.
- P : Presión calculada.
- k_2 : factor de aspecto, consultar en la normativa *UNE-EN ISO 12215-5:2008*
- σ_d : tensión mínima de diseño, expresada en N/mm^2 .

Una vez obtenidos todos los espesores se puede observar que hay dos espesores diferentes para un mismo casco, para facilitar el laminado y obtener un resultado homogéneo se tomará como espesor el de la zona del fondo de la embarcación, puesto que es el mayor. También se ha dado el mismo espesor a la cubierta y caseta, de esta manera se proporcionará más peso a la embarcación y así una mejora en la estabilidad.

La siguiente tabla muestra los espesores mínimos calculados y los espesores finales de los paneles en milímetros:

	Mínimo	Final
Fondo	6	25
Costado	5,5	25
Cubierta	2,3	25
Caseta	3	25

Tabla 13: Espesores mínimos y finales (Fuente: elaboración propia)

Aunque los valores de espesor obtenidos son los mínimos, por seguridad y consideración personal se ha dado un aumento considerable de espesor para asegurar que en un caso extremo la embarcación no sufra daños que puedan tener consecuencias desastrosas.

5.3. Dimensionado de los refuerzos

Se presentan diferentes tipos de refuerzo según su zona de aplicación y la presión de diseño asociada. Para poder dimensionarlos correctamente, además de la presión de diseño, se calculan los valores mínimos de los módulos de sección, área y momento de inercia teniendo en cuenta los límites de tensión admisibles por los materiales propuestos.

Para ello se utilizarán las fórmulas proporcionadas por la normativa *UNE-EN ISO 12215-5:2008* para el cálculo de los refuerzos de la embarcación:

$$SM = \frac{83.3 * k_{cs} * P * s * l_u^2}{\sigma_d} * 10^{-9}$$

Donde:

- SM : módulo de sección, expresado en cm^3 .
- k_{cs} : corrección de curvatura, expresada en mm .
- P : presión de diseño calculada anteriormente en los paneles, expresada en kN/m^2 .
- s : espaciado de los refuerzos en mm , para realizar su medición consultar la normativa mencionada anteriormente en este apartado.
- l_u^2 : longitud entre puntos de soporte en mm .
- σ_d : tensión mínima de diseño, expresada en N/mm^2 .

A continuación se calcula el momento de inercia del perfil de los refuerzos mediante la siguiente fórmula:

$$I = \frac{26 * k_{cs}^{1.5} * P * s * l_u^3}{0.05 * E_{tc}} * 10^{-11}$$

Donde:

- E_{tc} : valor del módulo de tensión/compresión, expresado en N/mm^2 .

Una vez obtenidos estos valores se mirará en las tablas de los anexos de la normativa mencionada anteriormente en este capítulo y se elegirá el refuerzo apropiado que cumpla con los valores calculados.

En la siguiente tabla se facilitan los resultados de las dimensiones de los refuerzos obtenidos en milímetros:

	h x tw (Mínimos)	h x tw (Final)
Fondo	100 x 75	100 x 75
Longitudinales	100 X 75	100 X 75
Transversales	100 X 75	100 X 75
Baos	100 X 75	100 X 75

Tabla 14: Dimensiones de los refuerzos (Fuente: elaboración propia)

Para elegir correctamente las dimensiones del refuerzo y el tipo, mediante las tablas facilitadas por la normativa mencionada, se comparan los valores de módulo de sección e inercia y se elige las dimensiones de los refuerzos según el espesor de panel obtenido. En este caso se ha elegido un refuerzo de madera macizo, en la siguiente imagen se puede ver el esquema del perfil del refuerzo:

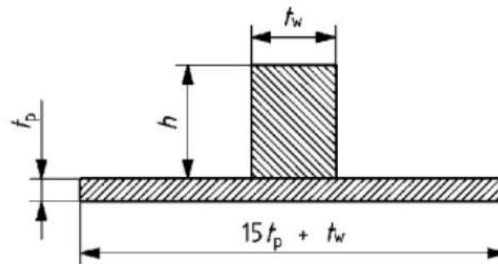


Figura 26: Geometría de los refuerzos (Fuente: ISO12215)

6. Equipos y sistemas

6.1. Equipo propulsor de combustión interna

Según los cálculos de potencia, es necesario un motor que entregue al menos 11 kW de potencia, para ello se ha elegido el motor Solé Diésel MINI29 para poder alcanzar la velocidad de proyecto de 8 kn. Las características principales del motor son las siguientes:

- Potencia intermitente: 20 kW
- Potencia continua: 18 kW
- Revoluciones: 3600 rpm
- Motor de arranque: 12 V
- Peso: 116 kg
- Rpm para 11kW de propulsión: 3000 rpm
- Consumo a 3000 rpm: 3.5 l/h

La elección de la marca del motor viene dada por la cantidad de embarcaciones de este tipo que llevan motores de esta marca, no hay que olvidar que el propósito de este proyecto es el de mejorar el rendimiento y contaminación de este tipo de embarcaciones, por lo que se ha querido recrear con mayor exactitud las características y equipamiento de estos barcos.



Figura 27: Motor Solé Diésel MINI29 (Fuente: web del fabricante)

Para el diseño de la instalación del equipo propulsor se ha tenido en cuenta la ubicación del motor para facilitar la reparación en caso de avería, así como aislarlo y alejarlo lo máximo de la cabina respetando el espacio existente para el gobierno de la embarcación.

Para la alimentación del motor se ha dispuesto un tanque de combustible en el fondo y babor de la embarcación, de esta manera se aprovecha el peso del tanque y del combustible para aumentar la estabilidad estática. Dicho tanque consta de 70 kg de combustible con una densidad de 0.832 g/m³, de esta manera se obtiene una cantidad de combustible de 84 litros.

El flujo de combustible será ayudado por una bomba mecánica de admisión, esta bomba funciona por el efecto vacío, es decir, el combustible entra en el motor por el efecto de vacío creado por los émbolos interiores de la bomba. Para evitar que entre combustible contaminado o sucio en el interior del motor se utilizarán filtros de combustible.

Para calcular la autonomía que ofrece la embarcación con la instalación tanto del motor como del depósito y teniendo en cuenta la velocidad de operación, se utilizará la siguiente fórmula:

$$\text{Autonomía} = \frac{\text{Capacidad combustible}}{\text{Consumo}}$$

Dónde:

- Capacidad de combustible: capacidad del tanque de combustible de la embarcación, expresada en litros.
- Consumo: consumo del motor a las rpm necesarias para alcanzar la velocidad de proyecto, en este caso 3000 rpm con un consumo de 3.5 l/h.
- Autonomía: expresada en horas.

En la siguiente tabla se puede observar la autonomía obtenida para una velocidad de proyecto de 8 kn:

Velocidad	8 kn	14,8 km/h
Potencia	11 kW	
Consumo	3,5 l/h	
Capacidad	84 l	
Autonomía	24,04 h	356 km

Tabla 15: Autonomía motor de combustión interna (Fuente: elaboración propia)

Otro factor a tener en cuenta en el diseño de la instalación de combustible es el de la ventilación del espacio del motor. En este caso se han dispuesto mamparos a proa y popa del

motor, pero no a babor y estribor, dejando así un espacio suficiente para su correcta ventilación. En la parte superior se dispone una tapa de madera que ofrece facilidad a la hora de la reparación en caso de avería.

No obstante, los cálculos con motor de combustión son básicamente para tener una orientación de la potencia necesaria y autonomía correspondiente, de esta manera se pretende implementar una propulsión totalmente eléctrica pudiendo igualar esa autonomía y mejorarla si fuera posible.

6.2. Sistema de agua dulce

La embarcación estará equipada con un sistema de agua dulce con una capacidad de 130 litros de agua. Los tanques estarán dispuestos en los costados de la embarcación, así se utiliza como lastre para mejorar la estabilidad estática de la embarcación, bajando su centro de gravedad y obteniendo unos valores de escora menores cumpliendo así con los criterios de estabilidad instaurados por la normativa.

El sistema de agua dulce estará compuesto de:

- 2 Tanques de agua dulce
- 2 Entradas de agua dulce
- 1 Bomba de presión y suministro de agua
- 1 Salida de agua en cubierta

El esquema funcional del sistema es el siguiente:

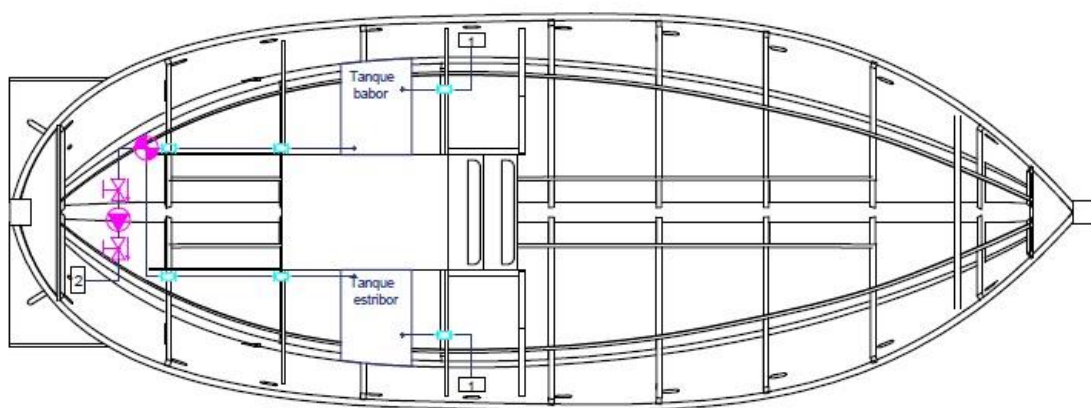


Figura 28: Sistema de agua dulce (Fuente elaboración pròpia)

El sistema se ha distribuido de manera que los tanques están a babor y a estribor de la embarcación, de esta manera se obtiene una mejora en la estabilidad. Por otra la bomba de servicio se encuentra en la popa de la embarcación, contando así con un fácil acceso en caso de avería. Para obtener más detalles sobre el esquema consultar en el anexo.

6.3. Sistema de achique

En una embarcación es importante evitar la acumulación de agua salada o dulce en el fondo de la embarcación, ya sea procedente de pequeñas fugas en el sistema de agua dulce o pérdidas en el sistema de refrigeración del motor.

Para ello se instalarán 2 bombas de achique, una de ellas será de activación automática, es decir, están equipadas con un sensor de nivel y cuando el nivel de agua supera el nivel permitido, ésta se enciende automáticamente achicando el agua contenida en la zona, y 1 de acción manual, destinada a situaciones de emergencia y cumpliendo así con la normativa *ISO 15083:2003*.

Estarán situadas por debajo del doble fondo de la embarcación, es decir, en las sentinas. En el caso de esta embarcación la sentina tanto del motor como de habilitación está conectada mediante aberturas, esto es debido a que así se permite achicar toda el agua contenida desde un mismo punto. Para la facilitación del mantenimiento de dichas bombas se han diseñado tapas en el doble fondo de manera que se proporciona un fácil acceso.

Además de bombas, también se deben instalar filtros de sentinas, encargados de limpiar el agua a extraer, evitando así una posible contaminación del mar. Se instalará un solo filtro que abastecerá las tres bombas instaladas.

Es decir, el sistema de achique estará compuesto por:

- 1 Bombas de achique automática sumergible
- 1 Bomba de achique manual
- 1 Filtro separador de sentinas
- 3 válvulas de globo de retención
- 1 descarga de costada
- 1 sensor de nivel
- 1 sensor de abierto/cerrado

A continuación se puede observar una imagen del sistema de achique, los planos con más detalles se pueden encontrar en el anexo.

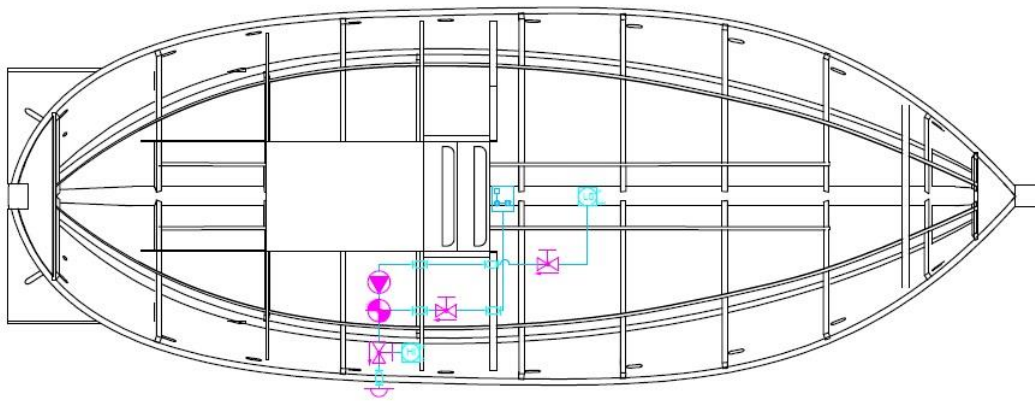


Figura 29: Sistema de achique (Fuente: elaboración propia)

6.4. Sistema eléctrico

Esta embarcación estará propulsada por un motor que será alimentado con una batería de arranque de 12V, ésta estará destinada únicamente al encendido del motor de combustión, además para mantener las bombas y el equipo de iluminación en servicio será necesario instalar una batería que posea una capacidad suficiente para dar servicio a todos los elementos presentes en el circuito.

El circuito eléctrico de iluminación estará compuesto de:

- 1 Batería de 12V a CC
- 1 Interruptor de conexión de baterías
- 2 Luces LED de iluminación interior
- 1 Luz de fondeo
- 1 Luz de navegación babor
- 1 Luz de navegación estribor
- 1 Bomba de achique manual
- 1 Bomba de achique automática
- 1 Bomba de agua dulce

Las luces LED de iluminación interior se dispondrán en el interior de la cabina, una a babor y otra a estribor, la luz de fondeo se instalará en el extremo superior del mástil, ofreciendo así una mayor visibilidad de la embarcación a larga distancia, y finalmente las luces de navegación de babor y estribor se dispondrán en los costados exteriores de la caseta.

Los elementos mencionados anteriormente serán conectados en paralelo por lo que sumarán una intensidad instalada de 9 A. Debido a que no se tiene todo conectado a la vez se ha dividido la intensidad instalada en demanda de día y de noche. Así utilizando la siguiente fórmula se podrá calcular la capacidad necesaria para alimentar los diferentes elementos del sistema:

$$Capacidad = P * k_u * k_n * (k_n * k_{sr}) * h$$

Dónde:

- Capacidad necesaria para alimentar el elemento en cuestión.
- P: potencia del elemento.
- Ku: factor de utilización.

- Kn: factor de redundancia.
- Ksr: factor de servicio.
- h: horas de uso.

A continuación se muestra una tabla donde se puede apreciar los resultados obtenidos de la potencia instalada y capacidad de las baterías de servicio:

	(W)	(A)
Pot. Max. Inst (W)	132,8	11
Pot. Max. Día (W)	50,4	4
Pot. Max. Noche (W)	100,8	8
Capacidad (Wh) / (Ah)	197,76	16,48

Tabla 16: Potencias y capacidades de las baterías (Fuente: elaboración propia)

Una vez obtenido el valor de capacidad necesario para abastecer todos los elementos del circuito, se procederá a la elección de una batería adecuada para el caso propuesto. Así se elegirá una batería de 12V con una capacidad de 40 Ah. Se pueden comprobar los cálculos del balance eléctrico en el anexo.

A continuación se puede observar una imagen del sistema eléctrico, para más detalles se pueden consultar los planos en el anexo.

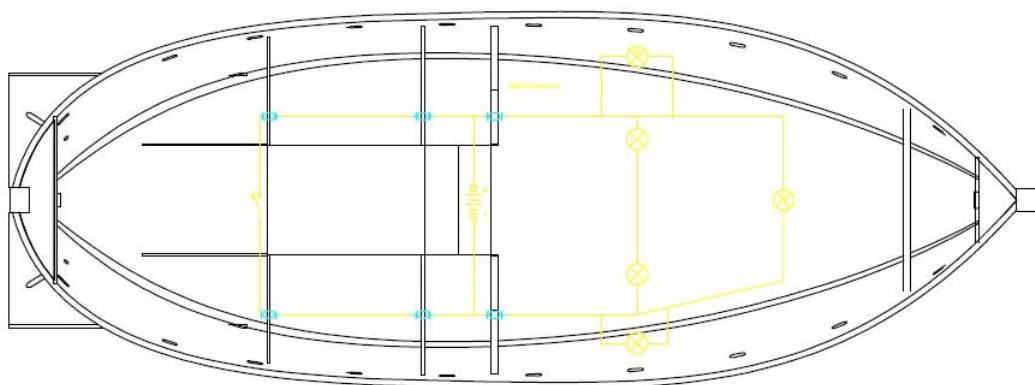


Figura 30: Sistema eléctrico (Fuente: elaboración propia)

7. Sistema de propulsión eléctrico

7.1. Propulsión motora

Como se ha mencionado anteriormente, la embarcación esta propulsada mediante un motor eléctrico con la misma potencia que el motor de combustible. En este caso no se disponen tanques de combustible ni bombas para el combustible, en su lugar se instalan dos baterías de alto rendimiento para dar autonomía a la embarcación.

El motor eléctrico elegido es un “Torqeedo” modelo “Deep Blue 80i 1400” de corriente alterna con una potencia de 66 kW lo que es suficiente para alcanzar la velocidad deseada. La instalación para la alimentación del motor se basa en una batería de arranque y dos baterías de alto rendimiento, éstas son las mismas que se montan en los coches eléctricos BMW i3.

Además de las baterías, la instalación cuenta con:

- Un cargador de baterías de corriente alterna para tomas de puerto: también tiene integrado un convertidor para transformar la tensión alterna procedente de puerto en tensión directa para carga de baterías.
- Un sistema de control de potencia (Morse): instalado en la consola de mandos de la embarcación con el objetivo de regular la potencia transmitida al motor.
- Un distribuidor de potencia: Conectado después del cargador de baterías, encargado de distribuir potencia a los reguladores de cada batería.
- Un regulador de potencia: elemento que conecta el motor con las baterías de alimentación, con el objetivo de controlar la emisión de potencia al motor propulsor.

Las características principales del motor son las siguientes:

- Potencia entrada: 66 kW
- Potencia continua: 55.1 kW
- Potencia propulsión: 32.4 kW
- Peso del motor: 80 kg
- Numero máx. de revoluciones de la hélice a plena carga: 1800/1400 rpm

A continuación, se expondrán las características de las baterías elegidas:

- Tensión nominal: 360 V
- Potencia continua máxima: 55kW
- Capacidad: 30.5 kWh

- Peso: 256 kg
- Dimensiones: 1660 x 964 x 147 mm

Una vez se tienen todos los elementos del sistema de propulsión eléctrica, se procede a calcular la autonomía que tendrá la embarcación con esta instalación, para ello se utiliza la siguiente fórmula:

$$\text{Autonomía} = \frac{\text{Capacidad Batería}}{\text{Intensidad}}$$

Dónde:

- Capacidad de la batería dada en Amperios-hora (Ah).
- Intensidad a suministrar al motor dada en Amperios (A).
- Autonomía de la embarcación dada en horas (h).

A continuación, se muestra una tabla donde se puede apreciar la autonomía con diferentes configuraciones de batería y dada en diferentes unidades:

Vel (kn)	Autonomía con 1 batería				Autonomía con 2 baterías			
	km	mn	h	min	km	mn	h	min
7	38	20	2,93	176	76	41	5,86	351
8	24	13	1,63	98	48	26	3,25	195
9	19	10	1,14	68	38	20	2,28	137
10	17	9	0,90	54	33	18	1,79	108

Tabla 17: Autonomías con propulsión eléctrica (Fuente: elaboración propia)

7.2. Hélice

Debido a la complejidad de cálculos y variedad de métodos para realizar la elección de la hélice, se ha consultado en los catálogos del mismo fabricante del motor de combustión instalado inicialmente.

Debido a que el motor de combustión es de 3 cilindros, la hélice no puede tener un número de palas que sea múltiplo del número de cilindros. De esta manera se ha optado por una hélice de 33 cm de diámetro con 4 palas, con un rango de revoluciones de motor de 1200 rpm a 3200 rpm.

El material utilizado para la fabricación de la hélice es bronce al manganeso, este material no es el más resistente del mercado pero ofrece buenas prestaciones en embarcaciones que no alcanzan grandes velocidades y navegación costera y un precio económico frente a otros materiales como el bronce aluminio.

Juntamente con la selección de la hélice el mismo fabricante propone un eje de 22 mm transformar la potencia del motor en potencia de propulsión. Debido a que el eje sale del casco e inmediatamente se instala la hélice no hay necesidad instalar ningún arbotante para sujetar y reducir el peso y vibraciones del eje.



Figura 31: Hélice (Fuente: web del fabricante)

7.3. Instalación placas solares

Para poder aumentar la autonomía de la embarcación se instalan placas fotovoltaicas en el techo de la caseta. Éstas van conectadas al controlador mencionado en el sistema de propulsión, este mismo controlador es el encargado de distribuir la energía según si las baterías estén cargadas o no, es decir, si las baterías están completamente cargadas la energía va dirigida a la alimentación del motor, una vez se empieza a descargar alguna de las dos baterías la energía procedente de las placas solares se envía hacia la carga de las baterías.

Se cuenta con diversas placas solares, dos placas de 160W cada una en la parte superior de la caseta y una placa de 160W en la proa de la caseta. La tensión de las placas solares es de 12V, el motor funciona a una tensión de 360V por lo que hay una diferencia demasiado grande. Para evitar esta diferencia se utiliza un inversor de corriente de 12V corriente continua a 240V corriente alterna, este paso produce una disminución de la intensidad que recibe el motor.

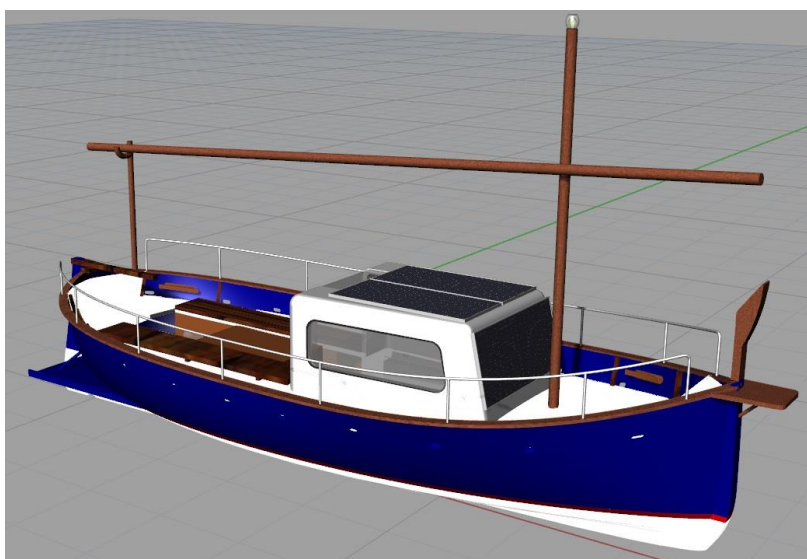


Figura 32: Placas solares en la embarcación (Fuente: elaboración propia)

La instalación de las baterías respecto a la carga recibida de las placas se realiza mediante una conexión en paralelo, de esta manera se cargan las dos baterías a la vez sin perder intensidad. Así se consigue un pequeño aumento del porcentaje de autonomía.

La instalación de las placas dispone de un sistema manual para mover las placas en un mismo ángulo de orientación, de esta manera se consigue obtener las mismas horas solares de pico para todas las placas, así se han colocado en un ángulo de 55° debido a las restricciones de espacio de la embarcación.

Las placas no se han dispuesto fijas debido a la posible dificultad de visión una vez están colocadas en el mismo ángulo, así estas son móviles para facilitar la maniobrabilidad en caso de necesidad.



Figura 33: Placas solares desplegadas (Fuente: elaboración propia)

El funcionamiento del sistema es el siguiente:

- Inicialmente la energía que aportan las placas solares es enviada directamente al motor, al no haber intensidad suficiente para mover la embarcación, los controladores cogen energía de las baterías de alimentación. De esta manera las placas pasan a cargar la batería que está en uso, proporcionando así unos minutos más de autonomía sobre la batería que se está utilizando.
- Una vez agotada la carga de la primera batería se procede a consumir de la segunda batería, en ese instante la energía de las placas solares siguen cargando la primera batería.
- Una vez agotadas las dos baterías se necesita cargar las baterías con una toma de carga en puerto.

Para calcular la autonomía adicional que aporta la instalación de placas solares hace falta definir previamente algunos conceptos importantes para proceder con los cálculos y entender las variables que aparecen:

- Horas solares de pico (HSP): Este valor significa las horas de sol que aportan la máxima energía a las placas, es decir, las horas en que las placas producen su intensidad máxima. Este valor depende de la zona geográfica de navegación, latitud, época del año, inclinación de las placas y condiciones atmosféricas y medioambientales. El

cálculo de este valor se ha realizado mediante una página web, dicha página puede comprobarse en la bibliografía del trabajo.

- Corriente en el punto de máxima potencia (I_{mpp}): Corresponde a la corriente proporcionada cuando se emite la máxima potencia, es decir durante el periodo de horas solares de pico. Se utiliza este valor para proceder con los cálculos de la autonomía adicional.

Utilizando la siguiente fórmula se puede calcular el tiempo de carga de las baterías utilizando únicamente la energía solar y considerando únicamente las horas solares de pico para cada placa solar:

$$\text{Tiempo de carga} = \frac{\text{Capacidad de la batería}}{I_1 + I_2 + I_3}$$

Donde:

- Tiempo de carga: el tiempo necesario para cargar una batería al 100%, expresado en horas.
- I_1 : Intensidad de las placas de la parte superior de la caseta.
- I_2 : Intensidad de la placa de la proa de la caseta.

La suma de las intensidades se debe a que la conexión de las placas solares se realiza en paralelo.

A continuación se procede a calcular los días necesarios para cargar la batería teniendo en cuenta las horas solares de pico, para ello se utiliza la siguiente fórmula:

$$\text{Días necesarios para carga 100\%} = \frac{\text{Tiempo de carga}}{\sum HSP_n}$$

Donde:

- HSP_n : Horas solares de pico en función de las condiciones atmosféricas, expresadas en horas.
- n : si toma valor 1 se toma como atmósfera limpia, valor 2 atmósfera normal y valor 3 atmósfera sucia.

Una vez definidos los días necesarios para tener la carga completa de la batería, se procede a calcular la autonomía adicional que se le proporciona a la primera batería, eso es debido a que la segunda batería está completamente cargada, para ello se utiliza la siguiente fórmula:

$$\text{Autonomía} = \frac{\text{Capacidad batería}}{I_{en}}$$

Donde:

- Autonomía: expresada en horas.
- Capacidad baterías: expresada en Ah.
- I_{en} : Intensidad de entrada, es decir intensidad que se debe suministrar para alcanzar la velocidad de proyecto, expresada en A.

Cuando la carga de la primera batería se agota, el motor es alimentado por la segunda batería y en ese instante la energía de las placas solares sigue con la carga de la primera batería, para ello se debe calcular que porcentaje de carga tiene la primera batería una vez se haya descargado la segunda, para proceder se utiliza la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de Carga} = \frac{\text{Tiempo de descarga} * 100}{\text{Tiempo de carga}}$$

Donde:

- Tiempo de descarga: hace referencia a la autonomía que tiene una batería sin la instalación de las placas solares, expresada en horas.

Finalmente se procede a calcular la autonomía total que tendrá la embarcación contando con todo el sistema de placas solares, para ello se utiliza la siguiente ecuación:

$$\text{Autonomía total: } A_1 + A_2 + A_3$$

Donde:

- A_1 : Autonomía de una batería sin instalación de placas solares, expresada en horas.
- A_2 : Autonomía adicional sobre la primera batería en uso, expresada en horas.
- A_3 : Autonomía de la batería que no está en funcionamiento, es decir, la autonomía que corresponde a la batería que se ha descargado primero.

El esquema de instalación del sistema propulsor y las placas solares es el siguiente:

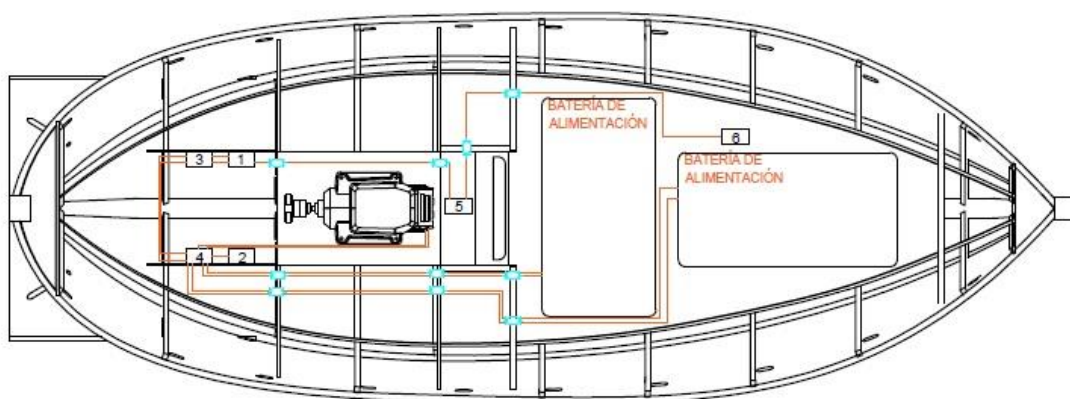


Figura 34: Sistema de propulsión eléctrica (Fuente elaboración pròpia)

Para obtener más información sobre el esquema consultar los planos en anexos.

8. Pesos finales

Una vez se han diseñado todos los sistemas de la embarcación se puede hacer una aproximación mucho más real de los pesos del barco. En este apartado se han tenido en cuenta todos los pesos de los elementos que componen los diferentes sistemas con la embarcación equipada con el sistema de propulsión eléctrica.

Este tipo de barcos suelen ser muy inestables debido a sus formas redondeadas del casco, para combatir dicha inestabilidad se han elegido algunos materiales con una densidad elevada, lo que otorga un mayor peso a la embarcación bajando su centro de gravedad y mejorando la estabilidad estática de la misma.

Los pesos finales son los siguientes:

	Peso (kg)	X (m)	Y (m)	Z (m)	Mx (kg*m)	My (kg*m)	Mz (kg*m)
Estructura principal	2769,93	3,82	0,12	1,28	10567,68	328,43	3553,03
Casco	1146,2	4,1	0	0,75	4699,42	0	859,65
Cubierta	475	4	0	1,05	1900	0	498,75
Refuerzos	783,1	3,9	0	0,75	3054,09	0	587,33
Cabina y toldilla	294	4,8	0	1,3	1411,2	0	382,2
Mástil proa	22,75	6	0	0	136,5	0	0
Mástil horizontal	44,2	3,76	0,26	3,57	165,97	11,27	157,88
Mástil popa	4,68	0,15	0,58	1,56	0,71	2,69	7,29
Propulsión eléctrica	662	2,65	0,00	0,50	1754,30	0	331
Motor	80	2,6	0	0,4	208	0	32
Baterías	512	5,1	0	0,5	2611,2	0	256
Eje	35	1,35	0	0,25	47,25	0	8,75
Hélice	35	0,2	0	0,2	7	0	7
Cargador	20	1,5	0	0,4	30	0	8
Placas solares	360	5,15	0	1,25	1854	0	450

Tabla 18: Pesos finales parte 1 (Fuente: elaboración propia)

Peso (kg)	X (m)	Y (m)	Z (m)	Mx (kg*m)	My (kg*m)	Mz (kg*m)
-----------	-------	-------	-------	-----------	-----------	-----------

Mobiliario y interiores	716,20	5,66	0,00	0,87	4053,45	0,00	620,71
Pique de proa	150	7,8	0	0,8	1170	0	120
Mamparo popa motor	37,4	3,8	0	0,7	142,12	0	26,18
Mamparo proa motor	37,4	5	0	0,7	187	0	26,18
Mamparo interior popa	6,4	5,558	0	0,8	35,5712	0	5,12
Mamparo interior proa	8	7	0	0,7	56	0	5,6
Camarote	477	4,80	0,00	1,50	2289,60	0,00	715,50
Sistemas	290	2,133	0,15	0,667	618,67	43,5	193,33
Gobierno	40	0,20	0	0,9	8	0	36
Agua dulce	200	2,70	0	0,1	540,00	0	20
Electrónica	50	3,5	0,45	1	175	22,5	50
Amarre y fondeo	110	7,867	0	0,767	865,33	0	84,33
Ancla de proa	20	7,9	0	0,75	158	0	15
Molinete	10	7,8	0	0,8	78	0	8
Cadena	80	7,9	0	0,75	632	0	60
Estiba	500	4	0	1,05	2000	0	525
Estiba varia	500	4	0	1,05	2000	0	525

Tabla 19: Pesos finales parte 2 (Fuente: elaboración propia)

De igual manera que se hizo en la estimación de pesos inicial, los resultados de los pesos finales se han clasificado en tres situaciones de carga, carga máxima, media carga y peso en rosca. Los centros de gravedad y momentos en los tres ejes dimensionales vienen dados en la tabla siguiente:

	Peso (kg)	X (m)	Y (m)	Z (m)	Mx (kg*m)	My (kg*m)	Mz (kg*m)
Carga máxima	5048,13	4,354	0,045	0,855	21980,24	225,96	4318,43
Media carga	4798,13	4,354	0,045	0,855	20891,71	214,77	4104,57
Peso en rosca	4548,13	3,687	0,045	0,68	16771,08	203,58	3094,79

Tabla 20: Resultados pesos finales (Fuente: elaboración propia)

9. Ahorro de combustible

Una vez calculadas las autonomías con las diferentes configuraciones de sistemas de propulsión, se pretende analizar el ahorro de combustible con la utilización de energía renovable y el impacto medio ambiental.

Para poder observar mejor las diferencias entre las autonomías obtenidas, se ha realizado la siguiente tabla:

	h	min	km	mn
Autonomía con motor de combustión interna	24,04	1442,4	356	192
Autonomía con motor eléctrico	3,25	195	48	26
Autonomía con motor eléctrico y placas solares	3,40	204,0	50	27

Tabla 21: Comparativa autonomías (Fuente: elaboración propia)

Se puede observar que la autonomía de la embarcación con el sistema de propulsión eléctrico es mucho menor que la autonomía con sistema de motor de combustión interna. Si se instala un sistema de placas solares para la carga de las baterías, dicha autonomía aumenta en un 5.2% respecto a la embarcación con propulsión eléctrica.

Debido a la gran diferencia que existe entre las autonomías, se procede a estudiar el ahorro de combustible en la utilización de los sistemas de propulsión eléctricos. Para calcular el ahorro de combustible se utiliza la siguiente fórmula:

$$\text{Ahorro consumo} = \text{Consumo motor} * \text{Autonomía}$$

Dónde:

- Consumo motor: consumo del motor a las rpm y velocidad de proyecto, en este caso 3.5 l/h.
- Autonomía: autonomía correspondiente a la embarcación con los sistemas de propulsión eléctricos, dada en horas.
- Ahorro de consumo: cantidad de combustible que se consumiría en dichas horas de funcionamiento con propulsión mediante motor de combustión interna.

En la siguiente tabla se pueden consultar dichos valores de ahorro de combustible:

Consumo de combustible en 3,25 h de funcionamiento
11,38 litros
Consumo de combustible en 3,40 h de funcionamiento
11,97 litros

Tabla 22: Ahorro de combustible (Fuente: elaboración propia)

De la tabla anterior se puede observar como con la utilización del sistema de propulsión eléctrico se pueden ahorrar 11,375 litros de combustible y con las placas solares instaladas 11,9 litros. Estos valores se traducen en un ahorro económico.

10. Estabilidad

En este apartado se estudia la estabilidad estática de la embarcación, es decir, la capacidad para que la embarcación no escoré en condición de aguas tranquilas y sin velocidad.

Para comprobar que la embarcación cumple con los requisitos impuestos por la normativa *ISO 12217-1:2002(E)*, se han introducido los pesos calculados anteriormente al programa Maxsurf Stability, el cual permite realizar una simulación de la aplicación de los pesos y la reacción de la embarcación. Además, permite observar si se cumplen todos los puntos de los criterios de estabilidad.

Para cumplir con la normativa no debe fallar ningún punto, a continuación, se exponen los criterios a cumplir según la normativa mencionada anteriormente.

- Prueba de carga compensada: equilibrio con el brazo adrizante no debe ser mayor a 10 grados. Resultado obtenido: 2,3 grados.
- Resistencia a las olas: el brazo GZ en 30 grados debe ser mayor a 0,2 m. Resultado obtenido de 0,365 m.
- Escora debida a la acción del viento: debe ser menor a 5 grados. Resultado obtenido: 2,3 grados.

11. Economía

A continuación se analizará el coste del sistema de propulsión eléctrica incluyendo también la instalación de las placas solares como fuente de alimentación de las baterías de alto voltaje. Para realizar el cálculo del ahorro de combustible durante la navegación de la embarcación eléctrica, se ha utilizado la siguiente fórmula:

$$\text{Ahorro combustible} = \text{Autonomía} * \text{Consumo motor combustión}$$

Donde:

- Autonomía: de la embarcación con sistema de propulsión eléctrica con placas o sin placas solares.
- Consumo motor de combustión: consumo en l/h de diésel del motor, en este caso 3.5 l/h.

El valor del ahorro en litros de combustible es de 11,38 en 3,25 horas de funcionamiento, como se muestra en la Tabla 22 realizada en el capítulo 9.

Para determinar los costes del sistema de propulsión eléctrica se han sumado los costes de los diferentes elementos:

- Motor con equipamiento: incluye los reguladores de potencia, distribuidor de potencia, Morse y cargador de baterías de alto voltaje.
- Baterías: incluye las dos baterías de alto voltaje BMW i3.
- Placas solares: incluye las tres células solares de 160 W cada una.
- Inversor de placas: inversor de corriente para la conexión de las placas al sistema.

Motor con equipamiento	20000 €
Baterías	16000 €
Placas Solares	447 €
Inversor placas	195 €
Total	36642 €

Tabla 23: Coste del sistema de propulsión eléctrico (Fuente: elaboración propia)

A continuación se ha realizado el cálculo de tiempo se tardaría en recuperar dicha inversión si únicamente se utilizara el dinero ahorrado por cada día de navegación, para ello se ha realizado una tabla con los siguientes apartados:

- Ahorro en combustible en un día de utilización.
- Días de utilización, como las horas solares pico se han calculado en función de 4 meses de navegación se han tomado 100 días de navegación al año.
- Años en recuperar la inversión.

Ahorro en combustible	17 €/día
Días de utilización	100 días/año
Años en recuperar inversión	21 años

Tabla 24: Tiempo de recuperación de la inversión (Fuente: elaboración propia)

Se puede observar como el tiempo de recuperación de la inversión es elevado, este cálculo es en base a 100 días de utilización, si se consideran más días de navegación este período disminuye.

12. Conclusiones

Sumando todas las embarcaciones de recreo del planeta se obtiene un elevado valor de emisiones contaminantes en la atmósfera. Una solución a este problema es el de eliminar los motores de combustión interna y reemplazarlos por sistemas de propulsión eléctrica u otras fuentes más respetuosas con el medio ambiente, sobre todo en aquellas embarcaciones que se limiten a la navegación de día y costera, debido a que no recorren grandes distancias.

Se puede observar cómo es posible propulsar una embarcación de 8 metros de eslora mediante un sistema de propulsión eléctrica. Se consigue una navegación agradable, ausente de ruidos y contaminaciones y ayudando a mejorar el sector naval a nivel de emisiones. Con este tipo de sistema se obtienen autonomías limitadas, pero con la ayuda de la instalación de placas solares como fuente de alimentación de las baterías, se puede llegar a aumentar dicha autonomía de manera que se otorgan mayores tiempos de navegación.

Para ello es importante analizar minuciosamente el espacio exterior de la embarcación de manera que se puedan instalar la mayor cantidad de placas y así una mayor captación y almacenamiento de potencia, pero siempre respetando el espacio habitable de la misma.

Otro factor a tener en cuenta son las formas del casco de la embarcación de manera que se requiera menos potencia para llegar a la velocidad deseada. De esta manera la necesidad de potencia es menor y la aportación de potencia de las placas solares es más efectiva.

La autonomía obtenida con la instalación de motor eléctrico y placas solares es de 3.40 h de funcionamiento o 27 millas náuticas de navegación, esto supone una mejora del 5.2% respecto a la embarcación sin las placas fotovoltaicas. Estos números son un primer paso para explorar mejores arreglos y disposición de los paneles solares, arreglos del número de baterías y otros factores que podrían llegar a mejorar dicha autonomía.

Se propone, por tanto, que se pueda seguir investigando en combinaciones óptimas de los parámetros que puedan adaptarse a todas las áreas disponibles de la embarcación para que puedan ayudar a la captación de energía solar y así, alimentar con mayor eficiencia las baterías. El mar es un lugar en el que la exposición solar es bastante abundante y según los tipos de actividades acuáticas, se pueden también sugerir conductas de ahorro y captación de energía.

Bibliografía

- Libros

Principles of Yatch Design, Fourth Edition. Lars Larsson, Rolf e Eliasson and Michael Orych.

- Normativa

UNE-EN ISO 8666:2002. Pequeñas embarcaciones. Datos principales.

UNE-EN ISO 12215-5:2008. Pequeñas embarcaciones. Construcción de cascos y escantillones. Parte 5: Presiones de diseño, tensiones de diseño y determinación del escantillón.

UNE-EN ISO 12215-6:2008. Pequeñas embarcaciones. Construcción de cascos y de escantillones. Parte 6: Dispositivos estructurales y detalles de construcción.

UNE-EN ISO 12217-1:2002 Embarcaciones de recreo. Evaluación y clasificación de la estabilidad. Parte 1: Embarcaciones no propulsadas a vela de eslora igual o superior a seis metros.

UNE-EN ISO 10088:2002. Embarcaciones de recreo. Sistemas de combustible instalados de forma permanente y tanques fijos de combustible.

UNE-EN ISO 10133:2001. Embarcaciones de recreo. Sistemas eléctricos. Instalaciones de corriente continua a muy baja tensión.

UNE-EN ISO 11812:2001. Embarcaciones pequeñas. Bañeras estancas y bañeras de vaciado rápido.

UNE-EN ISO 15083:2003. Pequeñas embarcaciones. Sistemas de bombeo de sentinas.

- Webs

Base de datos: www.mardaya.com / www.topbarcos.com / www.majoni.net / www.cosasdebarcos.com.

Consultado el 25/05/2018

Motor: www.solediesel.com / www.torqueedo.com. Consultado el 07/09/2018.

Baterías: www.torqueedo.com. Consultado el 07/09/2018.

Cálculo horas solares pico: <https://www.tutiendasolar.es/hps.php>. Consultado el 05/09/2018.

Placas solares: <https://www.damiasolar.com/productos/kits-para-embarcaciones-108>. Consultado el 1/09/2018.

Iluminación interior: <https://www.inoxidablesdominguez.com>. Consultado el 28/08/2018.

Baterías se servicio: <https://www.reguerobaterias.es>. Consultado el 30/08/2018.

Bombas achique y agua dulce: <https://www.francobordo.com>. Consultado el 02/09/2018.

Otras páginas: www.fondear.org / www.wikipedia.es. Consultado el 05/06/2018

Anexos

Anexo 1. Presiones y espesores

Paneles de fondo																								
Panel	Kdc	ncg para kl	Posición x del panel	kl	kr	l (m)	b (m)	l/b	Ad (m2)	Ad max (m2)	kar	Pbmd base (kN/m2)	Pbmd min (kN/m2)	Pbmd (kN/m2)	k2	c (m)	c/b	kc	t (mm)	t final (mm)				
F1	0,600	3,000	0,105	0,588	1,347	0,759	0,510	1,488	0,387	0,650	0,594	53,572	10,561	11,231	0,454	0,002	0,004	1,000	4,292	25,000				
F2	0,600	3,000	0,203	0,670	1,313	0,808	0,622	1,299	0,503	0,967	0,536	53,572	10,561	11,536	0,412	0,020	0,032	0,994	5,023	25,000				
F3	0,600	3,000	0,203	0,670	1,451	0,808	0,163	4,957	0,132	0,066	1,086	53,572	10,561	23,389	0,500	0,002	0,012	1,000	2,077	25,000				
F4	0,600	3,000	0,295	0,746	1,332	0,719	0,561	1,282	0,403	0,787	0,580	53,572	10,561	13,912	0,412	0,048	0,086	0,818	4,093	25,000				
F5	0,600	3,000	0,295	0,746	1,451	0,561	0,163	3,442	0,091	0,066	1,086	53,572	10,561	26,042	0,500	0,001	0,006	1,000	2,192	25,000				
F6	0,600	3,000	0,372	0,810	1,333	0,756	0,557	1,357	0,421	0,776	0,573	53,572	10,561	14,929	0,436	0,053	0,095	0,786	4,163	25,000				
F7	0,600	3,000	0,372	0,810	1,451	0,557	0,163	3,417	0,091	0,066	1,086	53,572	10,561	28,284	0,500	0,001	0,006	1,000	2,284	25,000				
F8	0,600	3,000	0,458	0,882	1,272	0,762	0,760	1,003	0,579	1,444	0,497	53,572	10,561	14,095	0,308	0,046	0,061	0,900	5,313	25,000				
F9	0,600	3,000	0,458	0,882	1,451	0,762	0,163	4,675	0,124	0,066	1,086	53,572	10,561	30,790	0,500	0,002	0,012	1,000	2,383	25,000				
F10	0,600	3,000	0,562	0,968	1,279	0,760	0,736	1,033	0,559	1,354	0,505	53,572	10,561	15,720	0,308	0,044	0,060	0,903	5,448	25,000				
F11	0,600	3,000	0,562	0,968	1,451	0,760	0,163	4,663	0,124	0,066	1,086	53,572	10,561	33,792	0,500	0,002	0,012	1,000	2,497	25,000				
F12	0,600	3,000	0,661	1,000	1,304	0,758	0,653	1,161	0,495	1,066	0,534	53,572	10,561	17,172	0,383	0,031	0,047	0,943	5,887	25,000				
F13	0,600	3,000	0,661	1,000	1,451	0,758	0,163	4,650	0,124	0,066	1,086	53,572	10,561	34,906	0,500	0,002	0,012	1,000	2,538	25,000				
F14	0,600	3,000	0,762	1,000	1,351	0,755	0,498	1,516	0,376	0,620	0,601	53,572	10,561	19,314	0,454	0,017	0,034	0,987	5,426	25,000				
F15	0,600	3,000	0,762	1,000	1,451	0,755	0,163	4,632	0,123	0,066	1,086	53,572	10,561	34,906	0,500	0,005	0,031	0,999	2,535	25,000				
F16	0,600	3,000	0,859	1,000	1,356	0,755	0,480	1,573	0,362	0,576	0,610	53,572	10,561	19,606	0,468	0,023	0,048	0,942	5,104	25,000				
F17	0,600	3,000	0,934	1,000	1,452	0,317	0,160	1,981	0,051	0,064	1,178	53,572	10,561	37,871	0,497	0,005	0,031	0,997	2,579	25,000				
Paneles costado																								
Panel	kdc	ncg para kl	Posición x del panel	kl	kr	l (m)	b (m)	l/b	Ad (m2)	Ad max (m2)	kar	h	Z	kz	bmd base (kN/m2)	bmd min (kN/m2)	bmd max (kN/m2)	k2	c (m)	c/b	kc	t (mm)	t final (mm)	
C18	0,600	3,000	0,028	0,524	1,386	0,995	0,379	2,625	0,377	0,359	0,625	0,433	0,995	0,565	53,572	17,365	4,266	7,435	0,500	0,090	0,237	0,316	0,862	25,000
C19	0,600	3,000	0,098	0,582	1,261	0,899	0,797	1,128	0,717	1,588	0,462	0,433	0,899	0,518	53,572	17,365	4,266	5,835	0,349	0,110	0,138	0,645	2,732	25,000
C20	0,600	3,000	0,244	0,704	1,255	1,449	0,818	1,771	1,185	1,673	0,396	0,333	0,818	0,593	53,572	17,365	4,266	6,484	0,487	0,074	0,090	0,801	4,342	25,000
C21	0,600	3,000	0,421	0,851	1,272	1,399	0,760	1,841	1,063	1,444	0,414	0,333	0,760	0,562	53,572	17,365	4,266	7,974	0,487	0,059	0,078	0,844	4,710	25,000
C22	0,600	3,000	0,563	0,970	1,275	0,800	0,749	1,068	0,599	1,403	0,493	0,333	0,749	0,555	53,572	17,365	4,266	10,755	0,349	0,046	0,061	0,897	4,853	25,000
C23	0,600	3,000	0,662	1,000	1,264	0,797	0,786	1,014	0,626	1,544	0,483	0,333	0,786	0,576	53,572	17,365	4,266	11,070	0,308	0,039	0,050	0,936	5,064	25,000
C24	0,600	3,000	0,764	1,000	1,262	0,862	0,793	1,087	0,684	1,572	0,469	0,333	0,862	0,614	53,572	17,365	4,266	11,147	0,349	0,041	0,052	0,929	5,417	25,000
C25	0,600	3,000	0,864	1,000	1,263	0,999	0,790	1,265	0,789	1,560	0,450	0,433	0,999	0,567	53,572	17,365	4,266	10,223	0,412	0,050	0,063	0,891	5,385	25,000
C26	0,600	3,000	0,937	1,000	1,389	1,090	0,370	2,946	0,403	0,342	0,605	0,477	1,090	0,562	53,572	17,365	4,266	13,697	0,500	0,032	0,086	1,000	3,609	25,000
C27	0,600	3,000	0,981	1,000	1,413	1,174	0,291	4,034	0,342	0,212	0,647	0,558	1,179	0,527	53,572	17,365	4,266	14,141	0,500	0,032	0,110	1,000	2,884	25,000
Superficie casco	59,300	m2																						
w	19,329	kg/m2																						
Peso casco	1146,201	kg																						
Paneles cubierta																								
Panel	Kdc	ncg para kl	Posición x del panel	kl	kr	l (m)	b (m)	Ad (m2)	Ad max (m2)	kar	Pdm base (kN/m2)	Pdm min (kN/m2)	Pdm (kN/m2)	k5	tmin (mm)	t final (mm)								
D28	0,600	3,000	0,032	0,528	1,500	0,608	0,252	0,405	0,159	0,864	17,365	5,000	4,751	0,900	2,300	25,000								
D29	0,600	3,000	0,101	0,585	1,500	0,549	0,269	0,130	0,181	0,918	17,365	5,000	5,594	0,900	2,300	25,000								
D30	0,600	3,000	0,101	0,585	1,500	0,818	0,797	0,428	1,588	0,433	17,365	5,000	2,640	0,900	2,300	25,000								
D31	0,600	3,000	0,248	0,707	1,500	1,448	0,532	0,354	0,708	0,679	17,365	5,000	5,008	0,900	2,300	25,000								
D32	0,600	3,000	0,248	0,707	1,500	1,448	0,387	0,090	0,374	0,668	17,365	5,000	4,925	0,900	2,300	25,000								
D33	0,600	3,000	0,420	0,850	1,500	1,399	0,551	0,421	0,759	0,645	17,365	5,000	5,714	0,900	2,300	25,000								
D34	0,600	3,000	0,420	0,850	1,500	1,399	0,387	0,090	0,374	0,668	17,365	5,000	5,919	0,900	2,300	25,000								
D35	0,600	3,000	0,604	1,000	1,500	1,597	0,682	0,576	1,163	0,587	17,365	5,000	6,117	0,900	2,300	25,000								
D36	0,600	3,000	0,765	1,000	1,500	0,793	0,597	0,123	0,891	0,515	17,365	5,000	5,367	0,900	2,300	25,000								
D37	0,600	3,000	0,765	1,000	1,500	0,793	0,618	0,559	0,955	0,592	17,365	5,000	6,172	0,900	2,300	25,000								
D38	0,600	3,000	0,858	1,000	1,500	0,749	0,379	0,122	0,359	0,677	17,365	5,000	7,049	0,900	2,300	25,000								
D39	0,600	3,000	0,885	1,000	1,500	1,161	0,617	0,493	0,952	0,615	17,365	5,000	6,411	0,900	2,300	25,000								
D40	0,600	3,000	0,979	1,000	1,500	0,307	0,300	0,122	0,225	0,778	17,365	5,000	8,111	0,900	2,300	25,000								
Superficie cubierta	24,600	m2																						
w	19,329	kg/m2																						
Peso cubierta	475,490	kg																						


Cais		kde	kg	mp para kl	kr	f (mm)	h (mm)	l/b	Ad (m2)	Ad max (m2)	Kuap	Piso base (kN/m2)	Phm (kN/m2)	k2	c (mm)	c/b	hc	f (mm)	f final (mm)																									
Cais1	0,6	3	1.500,0	1.898	0,461	4,1	8,405	0,111	0,812	0,5	17,385	1,779	0,5	0	0	1	2,2	25,0																										
Cais2	0,6	3	1.500,0	1.409	0,449	4,1	8,405	0,118	0,812	0,5	17,385	1,780	0,5	0	0	1	2,2	25,0																										
Cais3	0,6	3	1.500,0	0,99	0,446	2,9	8,438	0,099	0,773	0,5	17,385	1,723	0,5	0	0	1	1,8	25,0																										
Cais4	0,6	3	1.500,0	0,206	0,43	0,7	8,438	0,036	0,206	0,5	17,385	1,154	0,5	0	0	1	1,8	25,0																										
Cais5	0,6	3	1.500,0	1,275	0,461	4,2	0,900	0,227	0,777	0,5	17,385	2,047	0,5	0	0	1	1,6	25,0																										
Cais6	0,6	3	1.499,0	0,955	0,468	1,7	8,421	0,097	0,840	0,5	17,385	1,700	0,849	0	0	1	2,7	25,0																										
Cais7	0,6	3	1.500,0	0,999	0,461	0,0	8,405	0,118	0,812	0,5	17,385	1,780	0,814	0	0	1	2,7	25,0																										
Cais8	0,6	3	1.498,0	0,065	0,585	1,1	5,378	1,630	0,587	1	17,385	6,117	0,587	0	0	1	4,4	25,0																										
Superficie completa		15,268		mb																																								
w		15,320		kg/m2																																								
Peso cisterna		293,799		kg																																								
Superficie interiores		24,680		mb																																								
Peso interiores		477,838		kg																																								
Referencia longitudinal fondo																																												
Referencia	kde	kg	mp para kl	Posición x del ref.	m	kl	kr	kde	Ad min (m2)	kls	PDBase (kN/m2)	PDMin (kN/m2)	PDMax (kN/m2)	cu (mm)	cu / fu	kcs	N	ak (mm)	n	Etc.	f (mm)	Aw (cm2)	h (mm)	h normaliva (mm)	tw normaliva (mm)	tw normaliva (mm)	tw normaliva (mm)	Peso (kg)																
118	0,600	3,000	0,500	0,917	0,539	0,529	0,548	0,707	0,067	0,022	1,000	18,994	13,112	17,494	0,002	0,008	1,000	30,038	1,000	4,189	136,000	3,000	2,580	182,388	4,000	1,654	100	75	5,774	17,1405														
Referencia longitudinal cisterna																																												
Referencia	kde	kg	mp para kl	Posición x del ref.	m	kl	kr	kde	Ad min (m2)	kls	PDBase (kN/m2)	PDMin (kN/m2)	PDMax (kN/m2)	cu (mm)	cu / fu	kcs	N	ak (mm)	n	Etc.	f (mm)	Aw (cm2)	h (mm)	h normaliva (mm)	tw normaliva (mm)	tw normaliva (mm)	tw normaliva (mm)	tw normaliva (mm)	Peso (kg)															
123	0,600	3,000	0,500	0,917	0,838	0,838	0,832	0,907	0,702	0,232	0,868	18,994	18,994	6,636	7,161	0,002	0,002	1,000	135,183	1,000	4,000	196,000	3,000	2,580	707,015	100	16,654	100	75	1,000	7,884	51,346												
Referencia transversales																																												
Referencia	kde	kg	mp para kl	Posición x del ref.	m	kl	kr	kde	Ad min (m2)	kls	PDBase (kN/m2)	PDMin (kN/m2)	PDMax (kN/m2)	cu (mm)	cu / fu	kcs	N	ak (mm)	n	Etc.	f (mm)	Aw (cm2)	h (mm)	h normaliva (mm)	tw normaliva (mm)	tw normaliva (mm)	tw normaliva (mm)	tw normaliva (mm)	Peso (kg)															
T1	0,600	3,000	0,085	0,572	0,407	0,407	0,513	0,513	0,166	0,005	1,000	49,977	13,132	8,168	0,002	0,005	1,000	17,940	1,000	4,189	136,000	3,000	2,580	486,523	4,503	100	50	100	2,538	1,														
T2	0,600	3,000	0,167	0,623	0,508	0,508	0,618	0,618	0,204	0,024	0,772	1,000	49,977	13,132	9,947	0,002	0,002	1,000	119,546	1,000	4,189	136,000	3,000	2,580	777,227	13,795	100	75	1,000	3,448	36,5215													
T3	0,600	3,000	0,314	0,740	0,847	0,847	0,952	0,952	0,317	0,117	0,833	1,000	49,977	13,132	12,817	0,002	0,002	1,000	217,403	1,000	4,189	136,000	3,000	2,580	1664,107	15,310	100	75	1,000	1,918	1,9305													
T4	0,600	3,000	0,517	0,815	0,601	0,601	0,806	0,806	0,384	0,128	1,000	49,977	13,132	15,901	0,002	0,002	1,000	420,450	1,000	4,189	136,000	3,000	2,580	2414,212	22,179	100	75	1,000	3,45	18,76875														
T5	0,600	3,000	0,671	0,871	0,587	0,587	0,788	0,788	0,485	0,165	1,000	49,977	13,132	18,555	0,002	0,002	1,000	458,556	1,000	4,189	136,000	3,000	2,580	2584,715	23,626	100	75	1,000	2,686	2,686														
T6	0,600	3,000	0,538	0,802	0,802	0,802	0,918	0,918	0,446	0,152	1,000	49,977	13,132	16,951	0,002	0,002	1,000	398,505	1,000	4,189	136,000	3,000	2,580	2394,996	22,830	100	75	1,000	2,552	2,552														
T7	0,600	3,000	0,683	0,901	1,000	1,000	0,840	0,840	0,619	0,211	1,000	49,977	13,132	20,789	0,002	0,002	1,000	1405,180	1,000	4,189	136,000	3,000	2,580	7255,421	18,749	100	75	1,000	3,616	24,804														
T8	0,600	3,000	0,788	0,981	1,000	1,000	0,788	0,788	0,619	0,211	1,000	49,977	13,132	20,789	0,002	0,002	1,000	1405,180	1,000	4,189	136,000	3,000	2,580	7255,421	18,749	100	75	1,000	3,616	24,804														
T9	0,600	3,000	0,828	1,000	1,000	1,000	0,795	0,795	0,841	0,320	0,812	0,209	1,000	49,977	13,132	8,832	0,002	0,002	1,000	143,283	1,000	4,189	136,000	3,000	2,580	7310,852	18,607	100	75	1,000	3,352	21,78												
T10	0,600	3,000	0,927	1,000	1,000	1,000	0,793	0,793	0,841	0,321	0,812	0,209	1,000	49,977	13,132	8,832	0,002	0,002	1,000	142,400	1,000	4,189	136,000	3,000	2,580	7053,566	18,555	100	75	1,000	2,904	18,678												
T11	0,600	3,000	0,973	1,000	1,000	1,000	0,779	0,779	0,838	0,349	0,844	0,247	1,000	49,977	13,132	8,138	0,002	0,002	1,000	140,608	1,000	4,189	136,000	3,000	2,580	626,301	2,298	100	75	1,000	2,604													
Bases																																												
Referencia	kde	kg	mp para kl	Posición x del ref.	m	kl	kr	kde	Ad min (m2)	kls	PDBase (kN/m2)	PDMin (kN/m2)	PDMax (kN/m2)	cu (mm)	cu / fu	kcs	N	ak (mm)	n	Etc.	f (mm)	Aw (cm2)	h (mm)	h normaliva (mm)	tw normaliva (mm)	tw normaliva (mm)	tw normaliva (mm)	Peso (kg)																
B1	0,600	3,000	0,085	0,572	0,407	0,407	0,513	0,513	0,166	0,005	1,000	18,994	13,132	8,168	0,002	0,005	1,000	17,943	1,000	4,189	136,000	3,000	2,580	188,393	1,881	100	50	100	3,000	1,881														
B2	0,600	3,000	0,167	0,623	0,508	0,508	0,618	0,618	0,204	0,024	0,772	1,000	18,994	13,132	9,947	0,002	0,002	1,000	240,956	1,000	4,189	136,000	3,000	2,580	2799,847	5,615	100	75	1,000	1,312	5,9005													
B3	0,600	3,000	0,317	0,815	0,144	0,144	0,710	0,710	0,289	0,097	0,892	1,000	18,994	13,132	12,817	0,002	0,002	1,000	171,773	1,000	4,189	136,000	3,000	2,580	1520,834	12,247	100	75	1,000	1,642	8,5995													
B4	0,600	3,000	0,518	0,948	0,329	0,329	0,720	0,720	0,355	0,122	0,646	1,000	18,994	13,132	15,901	0,002	0,002	1,000	198,583	1,000	4,189	136,000	3,000	2,580	1624,725	13,739	100	75	1,000	0,896	4,17775													
B5	0,600	3,000	0,710	1,000	0,610	0,610	0,840	0,840	0,619	0,212	0,847	0,210	1,000	18,994	13,132	18,555	0,002	0,002	1,000	397,680	1,000	4,189	136,000	3,000	2,580	2747,411	7,722	100	75	1,000	0,768	1,8413												
B6	0,600	3,000	0,828	1,000	0,788	0,788	0,882	0,882	0,72	0,232	0,832	1,000	18,994	13,132	20,789	0,002	0,002	1,000	255,744	1,000	4,189	136,000	3,000	2,580	2504,766	16,432	100	75	1,000	3,188	18,315													
B7	0,600	3,000	0,948	1,000	0,779	0,779	0,838	0,838	0,646	0,247	0,954	1,000	18,994	13,132	20,789	0,002	0,002	1,000	293,903	1,000	4,189	136,000	3,000	2,580	2994	19,984	100	75	1,000	3,028														

Peso total refuerzos	302,4	kg		
Mamparos				
Mamparo	Db (m)	tb (mm)	h (m)	Peso mamparos (kg)
Mamparo popa motor	3,252	22,764	0,777	37,4
Mamparo proa motor	3,252	22,764	0,777	37,4
Mamparo interior bab	0,941	6,587	0,782	3,2
Mamparo interior estr	0,941	6,587	0,782	3,2
Mamparo proa	1,424	9,968	0,869	8,0
				89,1

Espesores paneles			
	Inicial	Final	
Fondo	6	25	mm
Costado	5,5	25	mm
Cubierta	2,3	25	mm
Caseta	3	25	mm


Dimensiones refuerzos			
	h x tw (Inicial)	h x tw (Final)	
Fondo	100 x 75	100 x 75	mm
Longitudinales	100 X 75	100 X 75	mm
Transversales	100 X 75	100 X 75	mm
Baos	100 X 75	100 X 75	mm

Anexo 2. Especificaciones motor



MINI-29
Motor intraborda en base Mitsubishi

3 cilindros en línea 27,2 CV (20 kW) 3600 rpm

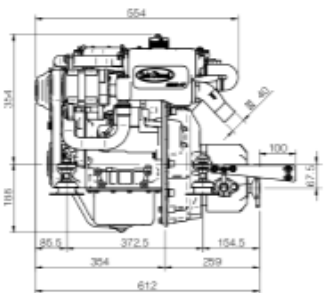
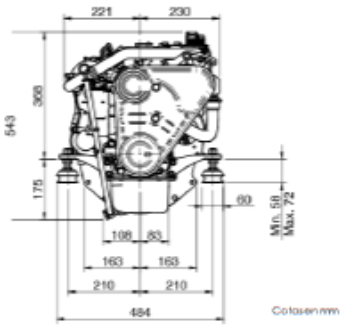


Características generales

Base	Mitsubishi
Tipo	Diesel 4 tiempos
Nº de cilindros	3 en línea
Sistema de aspiración	Almofético
Diámetro x carrera	76 mm x 70 mm (2,99 in x 2,76 in)
Cilindrada total	952 cc
Relación de compresión	22:1
Potencia intermitente (según ISO 3046/1)	27,2 CV (20 kW)
Potencia continua	24,5 CV (18 kW)
RPM	3600
Sistema de inyección	Inyección mecánica indirecta
Motor de arranque	12 V (1,2 kW)
Alternador	75 A 12 V
Ángulo de la instalación	Ángulo estático máx. 22° (+ 3° en funcionamiento)
Dirección de rotación del motor	Antihorario
Sistema de refrigeración	Intercambiador de calor agua marina y circuito cerrado de líquido refrigerante
Peso en seco sin inversor	116 Kg (256 Lbs)
Diámetro manguera de agua salada	20 mm (0,79 in)
Diámetro manguera aspiración gasoil	8 mm (0,31 in)
Diámetro manguera retorno gasoil	6 mm (0,2 in)
Diámetro manguera de escape	50 mm (2,0 in)
Certificaciones	EU: RCD II (Directive 2013/53/EU), BSO I

Dimensiones

MINI-29 TMC-40P

Cotas en mm

sole-diesel.com - info@sole-diesel.com

Para la distribución y venta en el territorio de España de los productos Sole Diesel 2017, Sole Diesel España ha designado a Solemar. Las especificaciones técnicas dadas y representadas están sujetas a modificaciones técnicas y de fabricación sin previo aviso y sin que ello implique responsabilidad alguna por parte de Sole Diesel.

Curvas de rendimiento



Paneles

SVT 20 Standard



- Tacómetro con cuenta horas
- Indicador temperatura del refrigerante
- Testigo precalentamiento
- Alarma de batería
- Alarma de alta temperatura del refrigerante
- Alarma de baja presión de aceite
- Llave de 5 posiciones
- Dimensiones: 205 x 155 mm

SVT 30 Opcional



- Tacómetro con cuenta horas
- Indicador temperatura del refrigerante
- Testigo precalentamiento
- Alarma de batería
- Alarma de alta temperatura del refrigerante
- Alarma de baja presión de aceite
- Llave de 5 posiciones
- Indicador presión de aceite
- Indicador de voltaje batería
- Dimensiones: 255 x 160 mm

Accesorios

Equipamiento de serie

- Imbucije
- Panel de instrumentos SVT 20
- Alargo de cableado de 3 m
- Silentblocks
- Bomba de extinción de aceite
- Manual del propietario

Equipamiento opcional y kits

- Disponemos de una amplia gama de accesorios y kits
- Nuestro dep. técnico le explicará la helice para optimizar al máximo su motor
- Para mas información consulte nuestra web

Inversores

Modelo	Tipo	Inclinación del eje	Reducciones (recreo)	Reducciones (trabajo)	Peso motor con inversor
SP40	Soil Drive	0°	2,14:1	-	165 Kg [364 Lbs]
TM-345	Hidráulico	0°	2,00:1 - 2,47:1	2,00:1 - 2,47:1	153 Kg [337 Lbs]
TM-345A	Hidráulico	8°	2,47:1 - 2,00:1	2,47:1 - 2,00:1	153 Kg [337 Lbs]
BMC-40P	Mecánico	0°	2,40:1 - 2,00:1	2,00:1	129 Kg [284 Lbs]
TMC-40A	Mecánico	7°	2:1 - 2,45:1	2:1 - 2,45:1	136 Kg [300 Lbs]
BMC-40P	Mecánico	0°	2,45:1 - 2:1	2,45:1 - 2:1	136 Kg [300 Lbs]
ZF 15 MIV	V-Drive M.	15°	2,134:1	2,134:1	144 Kg [317 Lbs]

Generador autónomo



soladiesel.com - info@soladiesel.com

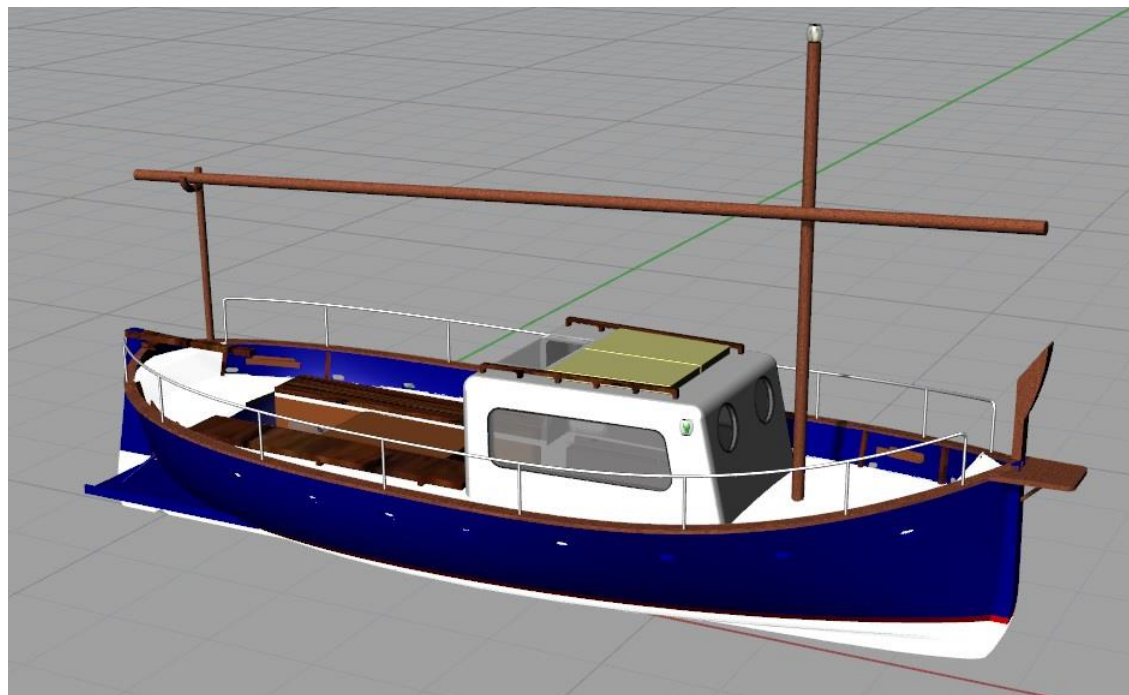
Podrá encontrar el número y especificación de los motores de la serie Soladiesel en el folio 17. Soladiesel tiene un departamento técnico. Los especialistas de Soladiesel están a su disposición para cualquier consulta o duda. Contáctenos a través de los canales de comunicación que se indican en el apartado de contacto.

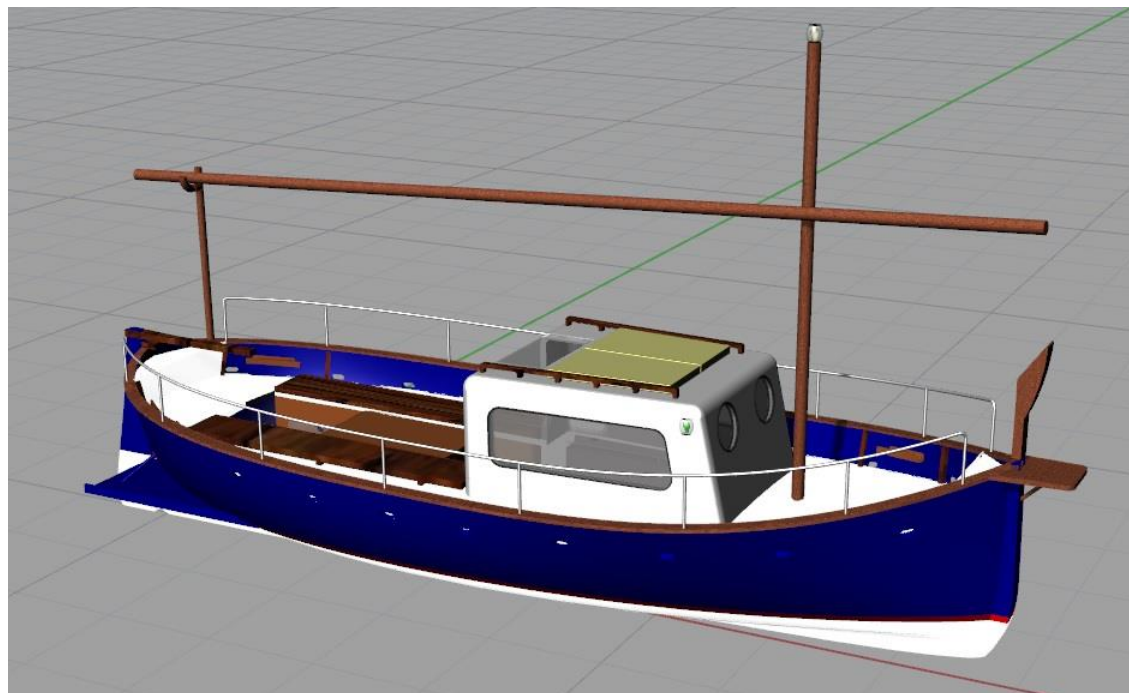


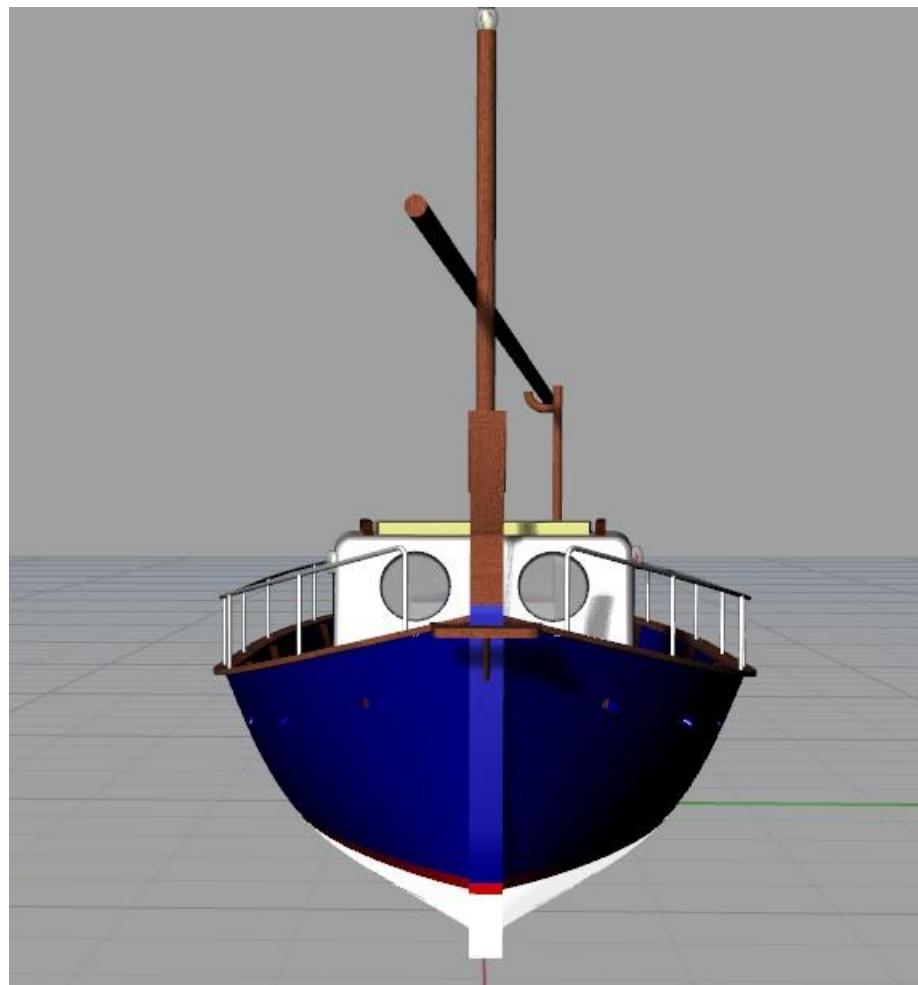
Anexo 3. Balance eléctrico

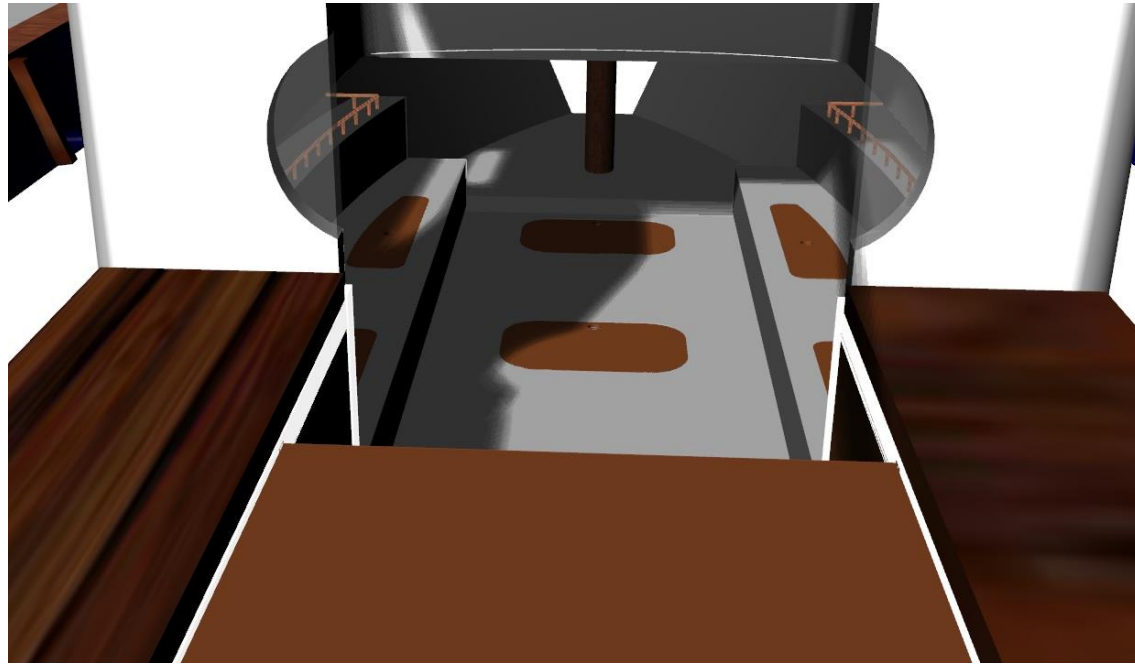
												Condiciones de navegación						Potencias máximas demandadas										
												Navegación		Fondeo		Puerto		Navegación		Fondeo		Puerto						
Servicio	Sistema	Elemento	Emergencia	Alimentación cc (V)	Unidades instaladas	Potencia unidad (W)	Potencia instalada (W)	Factor de utilización, Ku	Factor de redundancia, Kn	Factor de servicio, Ksr	Kn x Ksr	Día	Noche	Día	Noche	Día	Noche	Día	Noche	Día	Noche	Día	Noche	Horas uso 1 descarga	Horas uso emergencia 1 descarga	Capacidad (Wh)	Capacidad emergencia (kWh)	Sección mínima (mm2)
Achique	Achique	Bomba achique manual	1	12	1	25,2	25,2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	0,3	1	7,56	25,2	5
		Bomba achique eléctrica	0	12	2	30	60	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	0,2	0	12	0
Iluminación	Habilitación	Luces LED	0	12	2	3	6	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	25,2	0	25,2	5	0	30	0	11
	Navegación	Luces navegación	1	12	2	0,8	1,6	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	25,2	0	0	0	0	12	12	19,2	19,2	20
	Fondeo	Luz de fondeo	1	12	1	10	10	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	25,2	0	12	12	120	120	26
Agua dulce	Servicio	Bomba Agua dulce	1	12	1	30	30	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	0,3	1	9	30	26
SUMA			132,8							1	1	1	1	1	1	1	1	50,4	75,6	50,4	100,8	50,4	75,6			197,76	194,4	

Anexo 4. Imágenes diseño final



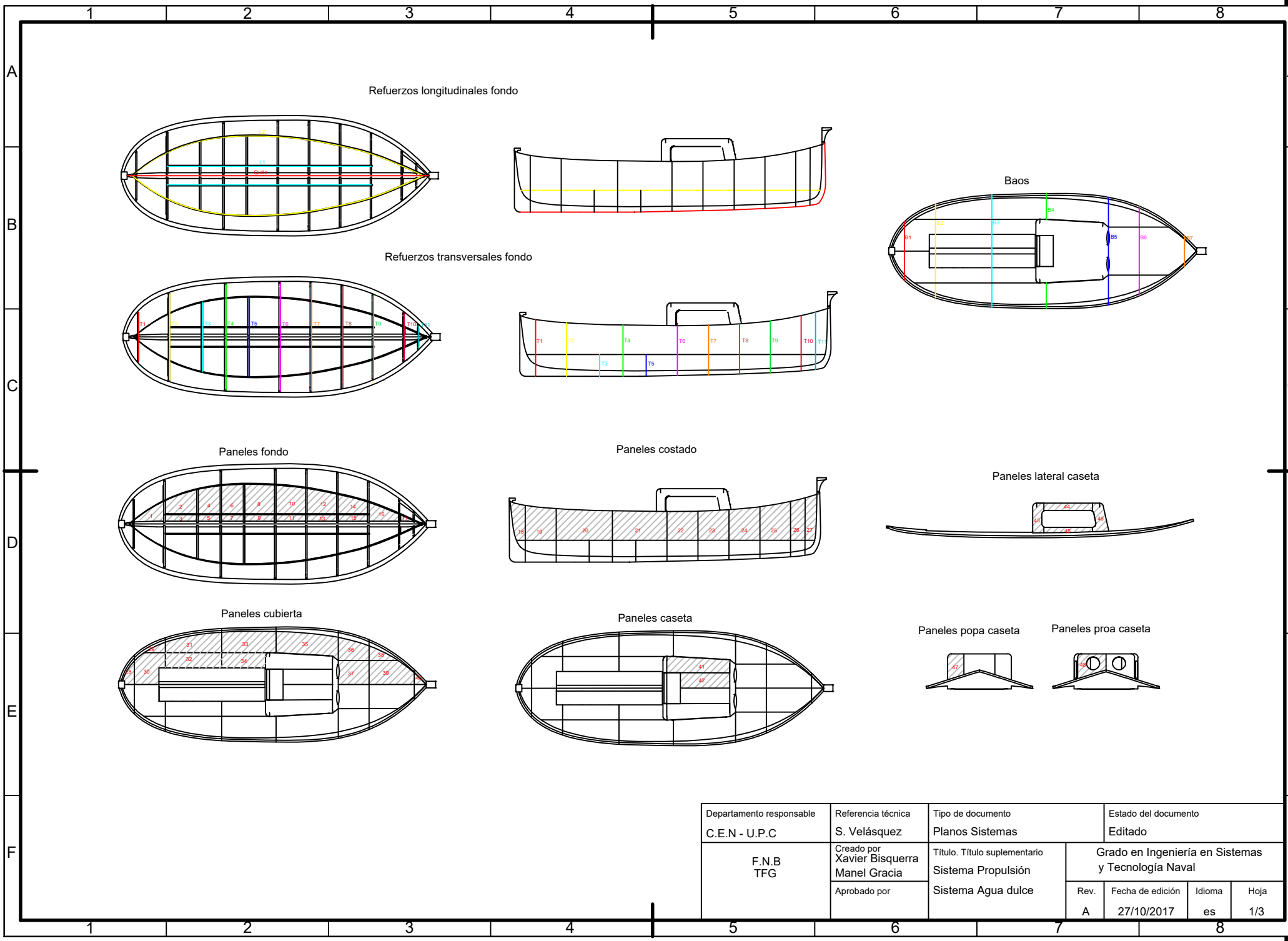


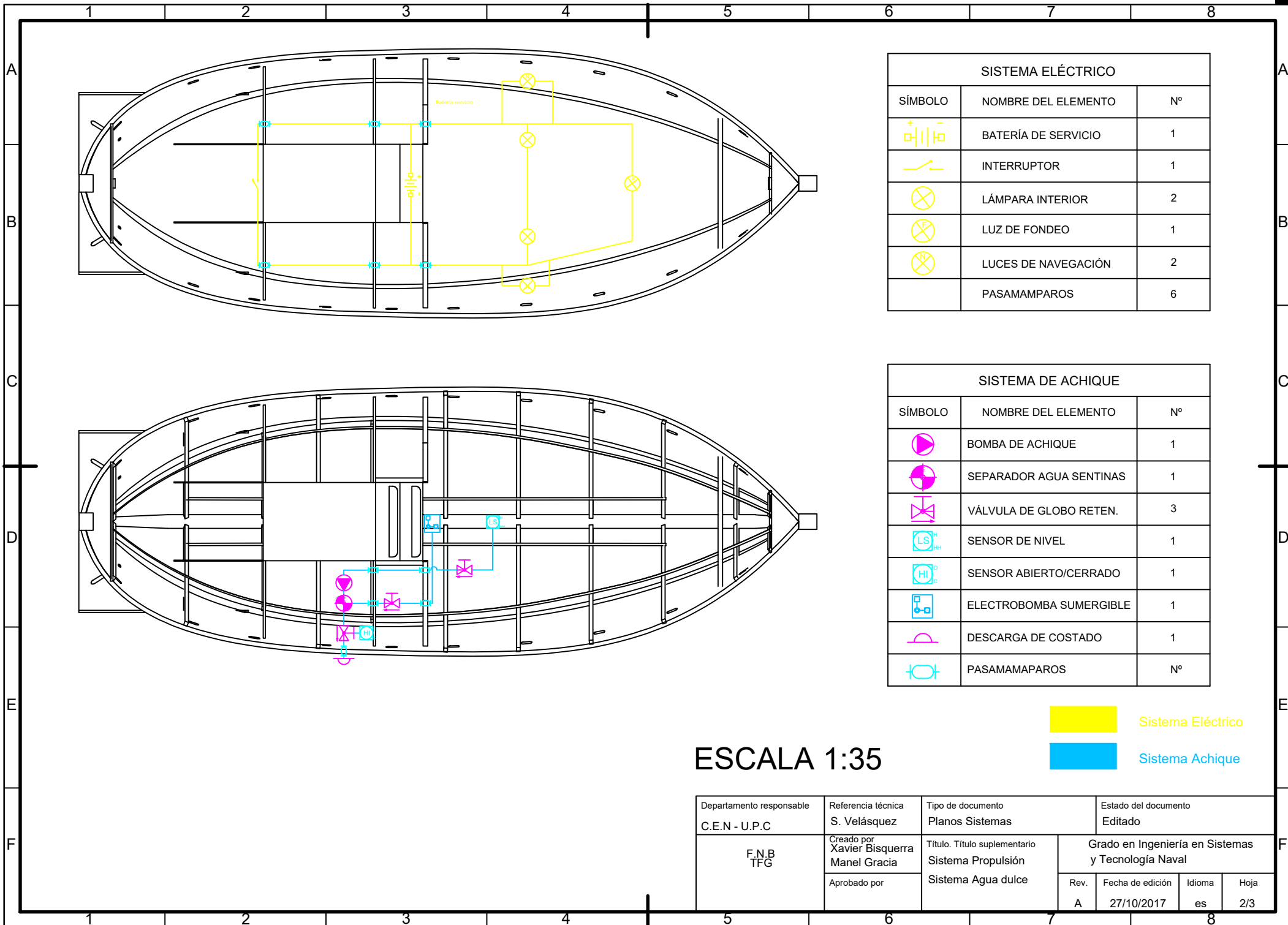












SISTEMA ELÉCTRICO		
SÍMBOLO	NOMBRE DEL ELEMENTO	Nº
	BATERÍA DE SERVICIO	1
	INTERRUPTOR	1
	LÁMPARA INTERIOR	2
	LUZ DE FONDEO	1
	LUCES DE NAVEGACIÓN	2
	PASAMAMPAROS	6

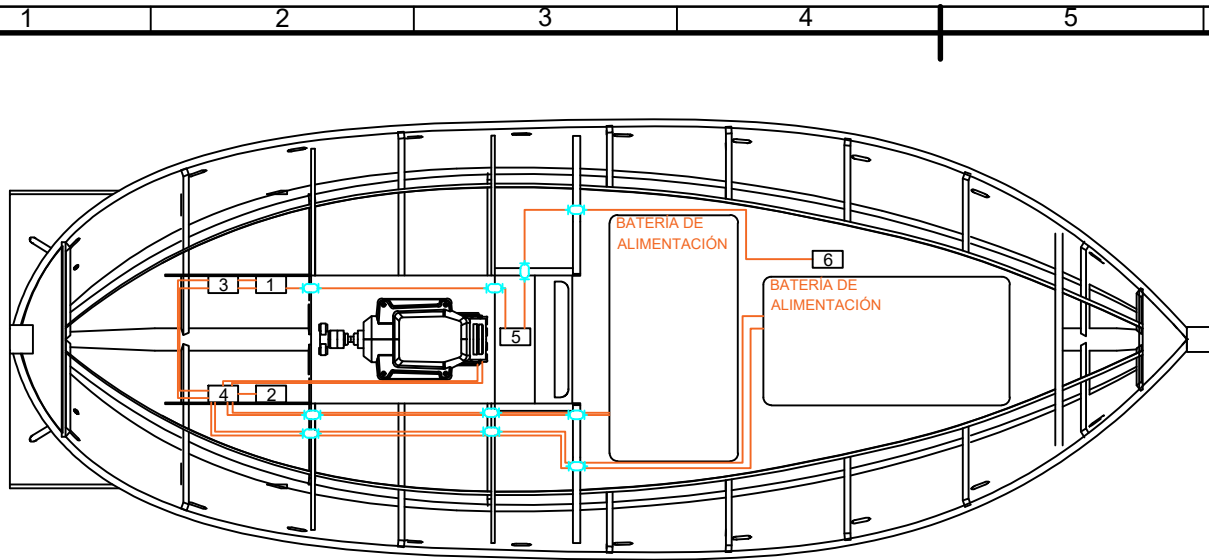
SISTEMA DE ACHIQUE		
SÍMBOLO	NOMBRE DEL ELEMENTO	Nº
	BOMBA DE ACHIQUE	1
	SEPARADOR AGUA SENTINAS	1
	VÁLVULA DE GLOBO RETEN.	3
	SENSOR DE NIVEL	1
	SENSOR ABIERTO/CERRADO	1
	ELECTROBOMBA SUMERGIBLE	1
	DESCARGA DE COSTADO	1
	PASAMAMPAROS	Nº

Sistema Eléctrico

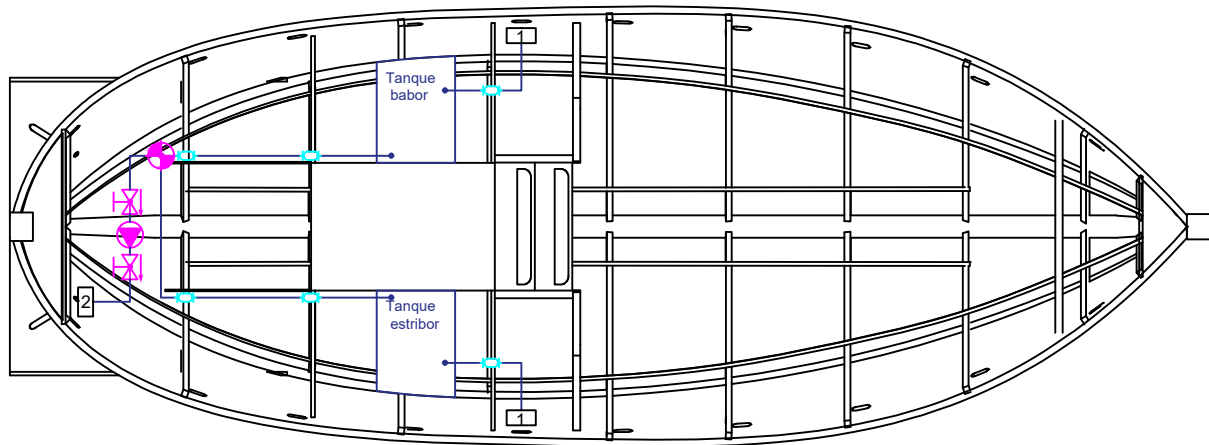
Sistema Achique

ESCALA 1:35

Departamento responsable	Referencia técnica	Tipo de documento		Estado del documento			
C.E.N - U.P.C	S. Velásquez	Planos Sistemas		Editado			
F.N.B TFG	Creado por Xavier Bisquerra Manel Gracia	Título. Título suplementario Sistema Propulsión		Grado en Ingeniería en Sistemas y Tecnología Naval			
	Aprobado por	Sistema Agua dulce		Rev.	Fecha de edición	Idioma	Hoja
				A	27/10/2017	es	2/3



SISTEMA DE PROPULSIÓN ELÉCTRICO		
SÍMBOLO	NOMBRE DEL ELEMENTO	Nº
1	CARGADOR DE BATERÍAS	1
2	MORSE	1
3	DISTRIBUIDOR DE POTENCIA	1
4	REGULADOR DE POTENCIA	1
5	INVERSOR PLACAS	1
6	PLACAS SOLARES	3
	PASAMAMPAROS	10



SISTEMA DE AGUA DULCE		
SÍMBOLO	NOMBRE DEL ELEMENTO	Nº
	BOMBA DE ACHIQUE	1
	SEPARADOR AGUA SENTINAS	1
	VÁLVULA DE GLOBO RETEN.	1
1	TOMA DE AGUA DULCE	2
2	GRIFO CUBIERTA	1
	PASAMAMPAROS	6

ESCALA 1:35



Departamento responsable	Referencia técnica	Tipo de documento		Estado del documento			
U.P.C	S. Velásquez	Planos Sistemas		Editado			
F.N.B TFG	Creado por Xavier Bisquerra Manel Gracia	Título. Título suplementario Sistema Propulsión		Grado en Ingeniería en Sistemas y Tecnología Naval			
	Aprobado por	Sistema Agua dulce		Rev.	Fecha de edición	Idioma	Hoja
				A	07/09/2018	es	3/3